



Vlaanderen
is wetenschap

17_088_14
WL rapporten

Agenda v/d Toekomst **Sedimenttransport op verschillende tijdschalen**

Deelrapport 14
Data-analyse met behulp van een multivariaat model naar
invloedsfactoren op de sedimentconcentratie in de Zeeschelde

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Agenda v/d Toekomst – Sedimenttransport op verschillende tijdschalen

Deelrapport 14 –
Data-analyse met behulp van een multivariaat model naar
invloedsfactoren op de sedimentconcentratie in de Zeeschelde

Plancke, Y.; Smolders, S.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2020
D/2019/3241/211

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Smolders, S.; Mostaert, F. (2020). Agenda v/d Toekomst – Sedimenttransport op verschillende tijdschalen: Deelrapport 14 – Data-analyse met behulp van een multivariaat model naar invloedsfactoren op de sedimentconcentratie in de Zeeschelde. Versie 3.0. WL Rapporten, 17_088_14. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2020R17_088_14
Keywords (3-5):	Sediment concentratie, storten, Schelde-estuarium, data-analyse		
Kennisdomeinen	Getij > Literatuur- en desktoponderzoek Cohesief sediment > Literatuur- en desktoponderzoek Baggeren en storten > Literatuur- en desktoponderzoek Bovenafvoer > Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	21	Bijlagen (p.):	35
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s)	Plancke, Y.
-----------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Smolders, S.	Getekend door: Sven Smolders (Signature) Getekend op: 2020-06-25 12:37:24 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Sven Smolders</i>
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2020-07-03 12:39:39 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-06-25 09:50:16 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

De variatie in sedimenttransport in het Schelde-estuarium op verschillende tijdschalen wordt binnen de Agenda voor de Toekomst onderzocht door het Waterbouwkundig Laboratorium. Binnen voorliggend rapport wordt, naar analogie van een eerdere studie door IMDC, een multivariate analyse uitgevoerd waarbij 3 verklarende parameters beschouwd werden: (1) de wekelijkse storthoeveelheid, (2) de verblijftijd en (3) de getijfactor. Deze parameters bleken uit de eerdere studie de belangrijkste bijdrage te leveren.

In eerste instantie werd de variatie in de tijd van de lineaire coëfficiënten onderzocht. Hiervoor werden de coëfficiënten bepaald gebruik makend van de data over een periode van 3 jaar. Op basis van deze coëfficiënten werd nagegaan of er in de periode 1999-2018 een trendbreuk aanwezig is. Tevens werd de invloed van de origine (meetcampagne) van de sedimentconcentratie-data bestudeerd. Uiteindelijk werd een multivariate model opgesteld dat laat toe de bijdrage van de verschillende verklarende factoren in te schatten. Met behulp van deze coëfficiënten kan dan ook de invloed van één of meer factoren bestudeerd worden.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
1.1 Situering.....	1
1.2 Doelstellingen	1
2 Methodologie	2
2.1 Multivariaat model	2
2.2 Sedimentconcentratie	3
2.2.1 OMES-dataset.....	3
2.2.2 HTE-vaarten	3
2.2.3 Schepstalen.....	3
2.3 Verblijftijd	5
2.4 Getij	6
2.5 Storthoeveelheden	7
2.6 Voorbewerking	8
3 Resultaten.....	10
3.1 Variatie in de tijd	10
3.2 Variatie in de ruimte.....	13
3.3 Variatie met verblijftijd.....	15
4 Scenario's.....	17
4.1 Invloed van stortingen.....	17
4.2 Invloed van verblijftijd	18
5 Conclusies	20
6 Referenties	21
Bijlage A – Scatterplots.....	B1
Bijlage B – temporele variatie	B14
Bijlage C – temporele variatie en invloed verblijftijd	B25

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht jaren waarin “breakpoint” optreedt.....	12
---	----

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht beschikbare SSC-gegevens (OMES, HTE, schepstaal).....	4
Figuur 2 – Verloop verblijftijd voor Boven-Zeeschelde	5
Figuur 3 – Verloop getijverschil en getijfactor over de periode 1995 – 2018 voor Antwerpen-Loodsgebouw	6
Figuur 4 – Verloop wekelijkse storthoeveelheden “slib”	7
Figuur 5 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 70-80	9
Figuur 6 – Verloop in de tijd van de lineaire coëfficiënten voor zone KM 70-80 (links) en KM120-130 (rechts)	11
Figuur 7 – Aantal beschikbare metingen (OMES-dataset) per kalenderjaar.....	12
Figuur 8 – Verloop in de ruimte van de coëfficiënten voor storthoeveelheden (boven), verblijftijd (midden) en getijfactor (onder)	13
Figuur 9 – Verloop in de ruimte van de coëfficiënten voor getijfactor in combinatie met snijpunt	14
Figuur 10 – Verloop in de ruimte van de coëfficiënten voor storthoeveelheden (boven), verblijftijd (midden) en getijfactor (onder) voor korte en lange verblijftijd	16
Figuur 11 – Invloed van storthoeveelheid op SSC bij korte (10 dagen, links) en lange (50 dagen, rechts) verblijftijd	17
Figuur 12 – Invloed van verblijftijd op SSC zonder (links) en met storting (50000 m ³ , rechts).....	18
Figuur 13 – Langsprofiel SSC voor verschillende scenario’s inzake storthoeveelheid en verblijftijd.....	19
Figuur 14 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 30-40	B1
Figuur 15 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 40-50	B2
Figuur 16 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 50-60	B3
Figuur 17 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 60-70	B4
Figuur 18 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 70-80	B5
Figuur 19 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 80-90	B6
Figuur 20 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 90-100	B7
Figuur 21 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 100-110	B8
Figuur 22 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 110-120	B9
Figuur 23 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 120-130	B10
Figuur 24 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 130-140	B11
Figuur 25 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 140-150	B12
Figuur 26 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 150-160	B13
Figuur 27 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 50-60).....	B14
Figuur 28 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 60-70).....	B15

Figuur 29 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 70-80).....	B16
Figuur 30 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 80-90).....	B17
Figuur 31 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 90-100).....	B18
Figuur 32 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 100-110).....	B19
Figuur 33 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 110-120).....	B20
Figuur 34 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 120-130).....	B21
Figuur 35 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 130-140).....	B22
Figuur 36 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 140-150).....	B23
Figuur 37 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 150-160).....	B24
Figuur 38 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 50-60).....	B25
Figuur 39 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 60-70).....	B26
Figuur 40 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 70-80).....	B27
Figuur 41 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 80-90).....	B28
Figuur 42 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 90-100).....	B29
Figuur 43 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 100-110).....	B30
Figuur 44 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 110-120).....	B31
Figuur 45 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 120-130).....	B32
Figuur 46 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 130-140).....	B33
Figuur 47 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 140-150).....	B34
Figuur 48 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 150-160).....	B35

1 Inleiding

1.1 Situering

Binnen het Agenda voor de Toekomst (AvdT)-project "Variatie in sedimenttransport in het Schelde-estuarium op verschillende tijdschalen" (Deeltaak 9) richt één luik zich op de ontwikkelingen in het sedimenttransport op de korte termijn, waarbij zowel een data-analyse als modellering op basis van complexe modellen plaatsvindt.

Voorliggend rapport beschrijft een tweede data-analyse die uitgevoerd werd waarbij gericht wordt op de invloedsfactoren op de sedimentconcentratie in de Zeeschelde. De gevolgde methodologie is gebaseerd op een eerdere multivariate analyse die in het kader van het Complex Project Extra Containercapaciteit Antwerpen (ECA) werd uit gevoerd door IMDC (International Marine and Dredging Consultants, 2016, 2017).

1.2 Doelstellingen

Voorliggend rapport heeft tot doelstelling na te gaan of een multivariaat model kan gereproduceerd worden naar analogie van eerdere studie waarmee de invloed van een aantal factoren op de sedimentconcentratie kan worden onderzocht. Met dit model kunnen vervolgens scenario's doorgerekend worden waarbij de invloed van wijzigingen in de onderzochte parameters kan nagegaan worden.

2 Methodologie

In de eerdere studie is aangetoond dat slechts een aantal factoren een noemenswaardige bijdrage leveren aan de variatie in sedimentconcentratie. In International Marine and Dredging Consultants (2017) werden volgende verklarende factoren meegenomen:

1. Bovendebiet te Melle
2. Stortvolume slib (Plaat van Boomke, Punt van Melsele, Oosterweel)
3. Stortvolume zand (Schaar van Ouden Doel)
4. Slib verwijderd uit systeem (Waaslandhaven)
5. Jaargemiddelde amplitude te Dendermonde (getijamplificatie)
6. Momentane (astronomische) amplitude (fase in DT-ST cyclus)
7. Tijdstip tov HW (fase in getij staalname)
8. Fase in nodale cyclus

Binnen voornoemde studie kwamen drie verklarende factoren als belangrijkste naar voren en enkel deze worden in deze studie verder meegenomen:

- Bovenafvoer
- Getijfactor
- Storthoeveelheden slib

In volgende paragrafen wordt besproken hoe de verschillende parameters in het model werden meegenomen, alsook welke data hiervoor gebruikt werden.

2.1 Multivariaat model

Het gebruikte multivariate model gaat uit van een lineaire bijdrage van de 3 bovengenoemde verklarende factoren. Dit levert volgend model:

$$SSC = \alpha_{stort} \cdot STORT + \alpha_{VBT} \cdot VERBLIJFTIJD + \alpha_{GF} \cdot GETIJFACTOR + \delta$$

Met: SSC: de sedimentconcentratie [mg/l]

STORT: de wekelijkse hoeveelheid slib gestort in de Beneden-Zeeschelde [m³ V']

VERBLIJFTIJD: de verblijftijd van een waterdeeltje in de Boven-Zeeschelde [dagen]

GETIJFACTOR: de getijfactor [-]

α_i : een lineaire coëfficiënt die de bijdrage van elke factor beschrijft

Voor een uitgebreide beschrijving van de verklarende factoren wordt verwezen naar de volgende paragrafen.

Het bepalen van de lineaire coëfficiënten werd uitgevoerd in het pakket "R", meer bepaald de functie "LM". Deze lineaire multivariate analyse werd uitgevoerd op subsets van de totale dataset. Volgende opdelingen werden toegepast:

- Type: indeling op basis van de oorsprong van de data;
- Ruimtelijk: indelen van data in blokken van 10 km volgens de (lang)safstand tot de monding;
- Temporeel: om na te gaan of de bijdrage van de verschillende factoren wijzigt in de tijd, werd een indeling gehanteerd waarbij data over een periode van 3 jaar (1/1/YYYY-1 tot 1/1/YYYY+2) gegroepeerd; daarnaast werd ook een analyse gedaan voor staalname genomen bij een lange en korte verblijftijd (grenswaarde 15 dagen); om voldoende datapunten te hebben werd hiervoor een periode van 5 jaar gekozen;

2.2 Sedimentconcentratie

In bovengenoemde studie is gebruik gemaakt van de OMES-dataset. In een eerdere studie werd ook reeds gebruik gemaakt van de continue metingen in de Zeeschelde, die echter op slechts 3 locaties beschikbaar waren, waarvan er 2 gelegen zijn in de Beneden-Zeeschelde. Omwille van de bezorgdheid rond de sedimenthuishouding in de Boven-Zeeschelde (Maris & Meire, 2017), is er binnen voorliggende studie voor gekozen om gebruik te maken van deze datasets die ook in de Boven-Zeeschelde beschikbaar zijn. Naast de OMES-datasets, zijn er ook periodieke metingen beschikbaar uit de halftij-eb (HTE) vaarten en vanuit de schepstalen die ter hoogte van de tijposten worden genomen. Deze extra gegevens worden ook gebruikt.

2.2.1 OMES-dataset

De OMES-dataset is verzameld door middel van (half-)maandelijkse langsvaarten in het estuarium en omvat o.a. gegevens van de sedimentconcentratie nabij het wateroppervlak, dit langsheen de volledige Zeeschelde, waarbij de eerste metingen dateren van midden jaren 1990. Opgemerkt dient te worden dat deze dataset getij-onafhankelijk verzameld is, zodat de variatie van de sedimentconcentratie binnen de getijcyclus invloed heeft op de verschillende metingen.

Ten behoeve van deze studie is gebruik gemaakt van de aangeleverde gegevens (sedimentconcentratie nabij het wateroppervlak) in het kader van de studie “slibbalans Zeeschelde” (00_029), waarbij een opgekuiste versie van de dataset werd aangeleverd door de UAntwerpen (mail d.d. 10/07/2017). De beschikbare gegevens, ingedeeld in blokken van 10 km, staan voorgesteld in Figuur 1.

2.2.2 HTE-vaarten

In het kader van het MONEOS-programma worden door het Waterbouwkundig Laboratorium om regelmatige tijdstippen langsvaarten in het estuarium uitgevoerd op het moment van halftij-eb. Voor de Beneden-Zeeschelde vond dit voor het eerst plaats in 2008 (eerst maandelijks, later 3-maandelijks), voor de Boven-Zeeschelde in 2012 (3-maandelijks). Voor deze analyse worden enkel de stalen gebruikt die genomen zijn nabij het wateroppervlak (i.e. ca. 1 m onder het wateroppervlak), dit omwille van de analogie met de OMES-dataset. In tegenstelling tot de OMES-datasets gebeuren deze meting getij-afhankelijk, zodat de invloed van de intra-getij variatie beperkt wordt. Deze kan echter niet uitgesloten worden aangezien deze langsvaart niet exact op het zelfde moment van het getij plaatsvindt. De beschikbare gegevens, ingedeeld in blokken van 10 km staan voorgesteld in Figuur 1.

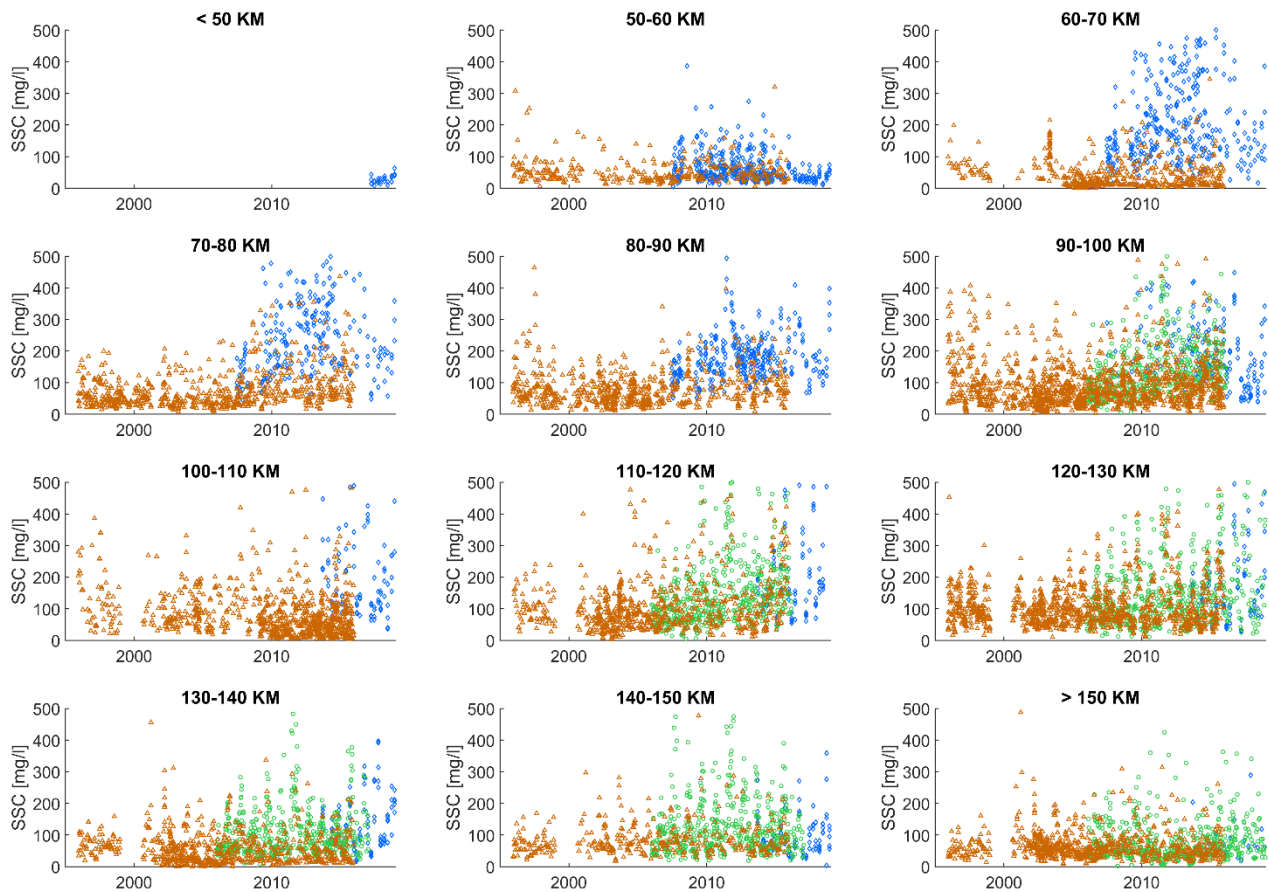
2.2.3 Schepstalen

Door de voormalige afdeling “Hydrometrie” werden ter hoogte van de getijposten schepstalen verzameld waarvan de sedimentconcentratie werd bepaald. Initieel (~ 2006) vond dit plaats ter hoogte van alle getijposten, geleidelijk is dit afgebouwd tot een beperkt aantal getijposten. Voor voorliggende analyse werden de gegevens meegenomen van volgende locaties (omwille van lange beschikbaarheid):

- Schelle
- Sint-Amands
- Dendermonde
- Schoonaarde
- Wetteren
- Melle

Net zoals bij de OMES-dataset betreft het hier een getij-onafhankelijke dataset. De beschikbare gegevens, ingedeeld in blokken van 10 km staan voorgesteld in Figuur 1.

Figuur 1 – Overzicht beschikbare SSC-gegevens (OMES, HTE, schepstaal)

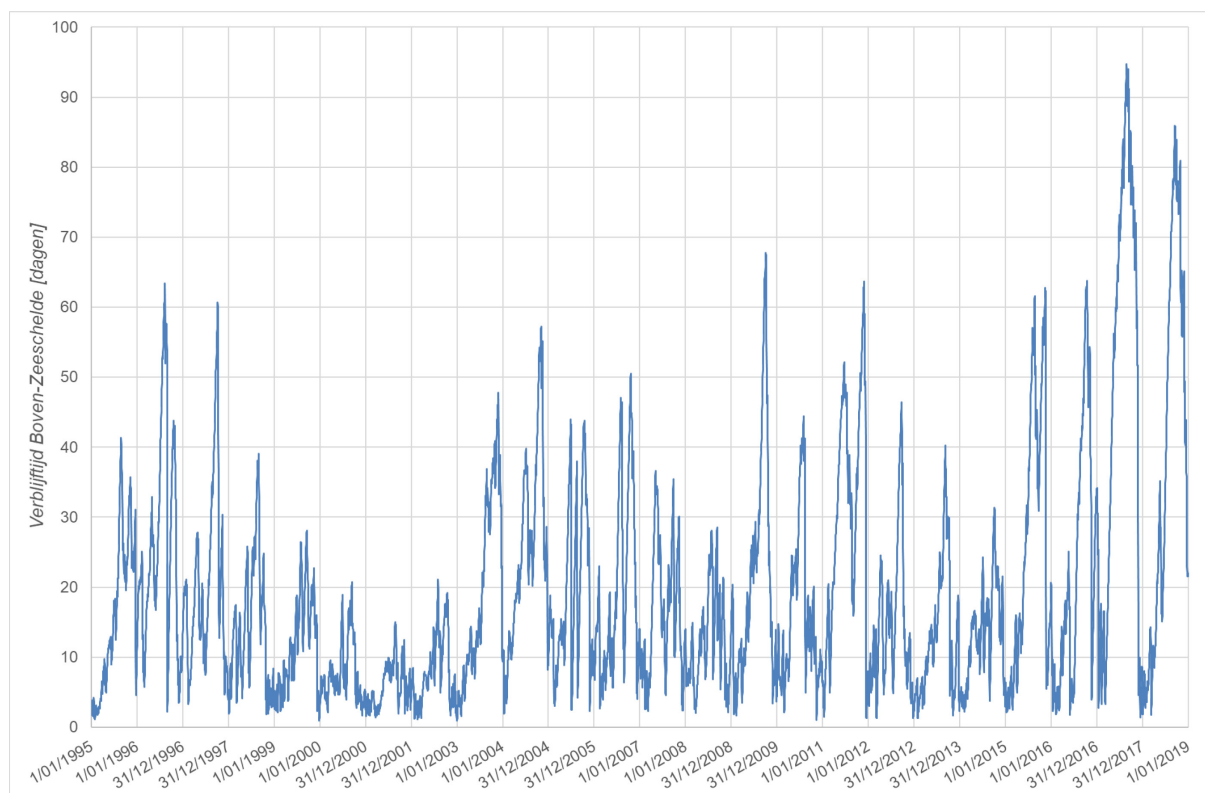


2.3 Verblijftijd

In International Marine and Dredging Consultants (2017) werd gekozen de bovenafvoer mee te nemen in het multivariaat model door een middeling toe te passen over een bepaalde periode. Via een verkennende analyse werd onderzocht welke periode de beste overeenstemming gaf en leverde een verschillende periode per locatie.

Aangezien niet enkel de instantane waarde van de bovenafvoer bepalend is, maar ook de voorgeschiedenis¹, wordt voor deze analyse geopteerd gebruik te maken van een parameter die toelaat zowel de grootte van de bovenafvoer als de duur waarover dit optreedt te kwantificeren: de verblijftijd (ook wel verversstijd genoemd). In het MONEOS-jaarboek 2016 (Plancke *et al.*, 2017) werd deze parameter voor het eerst berekend voor de Boven-Zeeschelde en binnen voorliggende analyse zal dan ook gebruik gemaakt worden van deze parameter (Figuur 2). Voor een uitgebreide beschrijving van de berekeningswijze wordt verwezen naar bovenstaand rapport. Idealiter dient voor elke locatie van de staalname de verblijftijd berekend te worden, rekening houdend met de variatie van het opwaartse watervolume. Dit is, omwille van de hoeveelheid locaties en aangezien er eveneens van uitgegaan wordt dat het patroon van verblijftijd gelijkaardig is in het ganse estuarium, niet gebeurd.

Figuur 2 – Verloop verblijftijd voor Boven-Zeeschelde



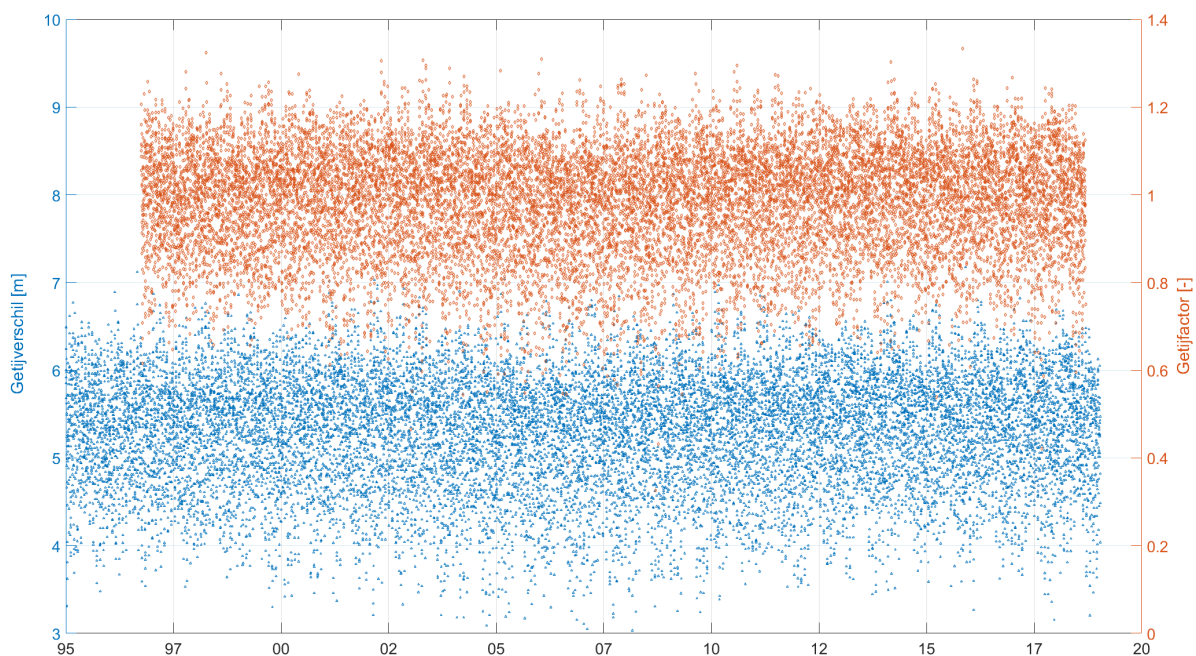
¹ In periodes met hoge bovenafvoer zal het water en het sediment snel doorheen de Boven-Zeeschelde getransporteerd worden; in periodes met lage bovenafvoer zal het water en het sediment traag doorheen de Boven-Zeeschelde getransporteerd worden, waarbij het sediment ook in opwaartse richting getransporteerd kan worden.

2.4 Getij

In International Marine and Dredging Consultants (2017) werd gekozen de invloed van het getij mee te nemen door middel van 2 verklarende factoren: enerzijds de jaargemiddelde getijslag te Dendermonde, anderzijds de momentane amplitude (gemiddelde van periode datum staalname ± 2 dagen). Aangezien de invloed van het getij relatief gelijkaardig is doorheen het estuairum, met uitzondering van het meest opwaartse deel onder invloed van de bovenafvoer, is er binnen voorliggende analyse gekozen om de invloed van het getij mee te nemen door middel van de getijfactor. De getijfactor geeft de verhouding weer van het getijverschil op het moment van staalname ten opzichte van het gemiddelde getijverschil over de periode 1996-2018 en dit voor het station Antwerpen-Loodsgebouw.

Uit Figuur 3 blijkt dat de getijfactor varieert tussen 0,7 (doodtij) en 1,2 (springtij) en kan opgemerkt worden dat er geen noemenswaardige trend ($\sim 3,4E-4$ /jaar) aanwezig is over de beschouwd periode.

Figuur 3 – Verloop getijverschil en getijfactor over de periode 1995 – 2018 voor Antwerpen-Loodsgebouw



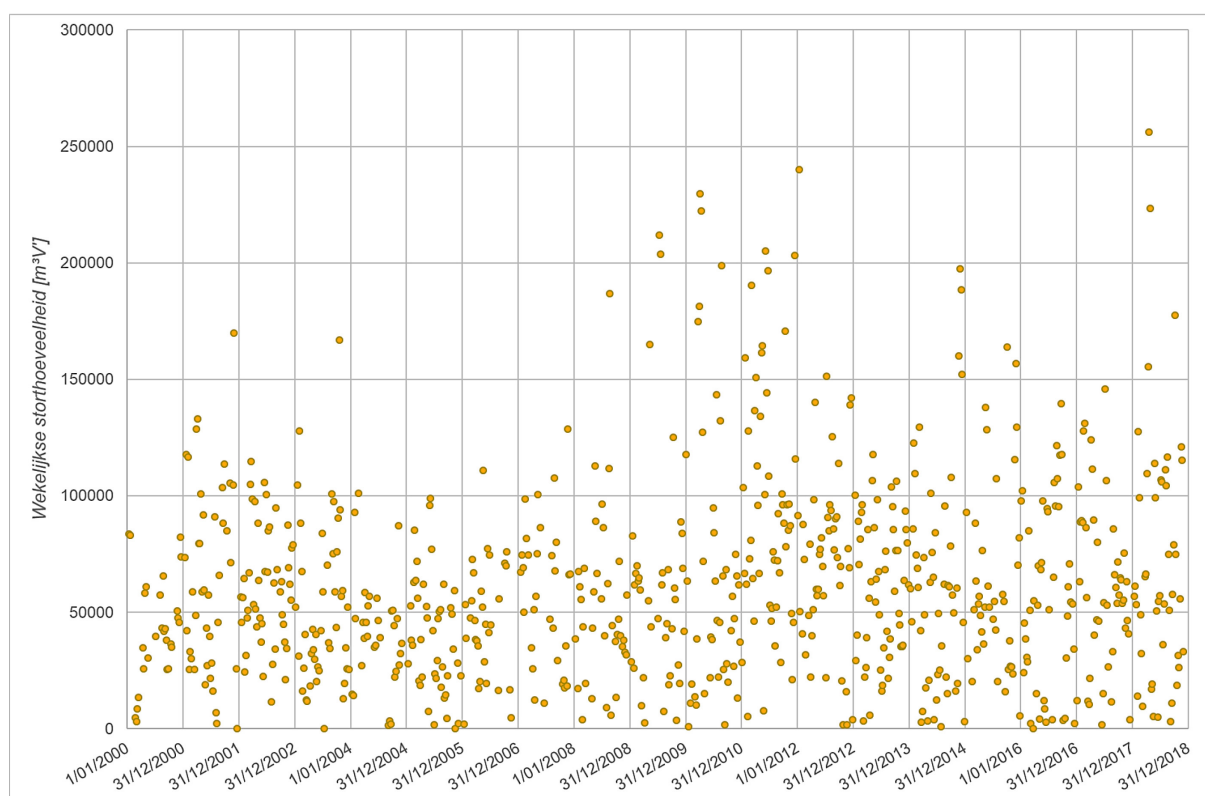
2.5 Storthoeveelheden

In International Marine and Dredging Consultants (2017) werd zowel het stortvolume slib (stortlocaties Plaat van Boomke, Punt van Melsele, Oosterweel) als het stortvolume zand (stortlocatie Schaar van Ouden Doel) als verklarende parameter meegenomen. De achterliggende reden om ook zand mee te nemen vindt haar oorsprong in het feit dat naast het zand er ook een aandeel fijne fractie aanwezig is die op de stortlocatie voor zand verspreid wordt. Aangezien de bijdrage van deze verklarende parameter beperkt was, is ervoor gekozen om in voorliggende analyse louter de storthoeveelheden slib te beschouwen. Naast bovenvernoemde stortlocaties is sinds 2018 ook de stortlocatie ter hoogte van de Ketelputten in gebruik voor slibrijke specie en wordt deze dan ook mee beschouwd.

Sinds 2012 worden de storthoeveelheden geregistreerd per trip (i.e. individuele cyclus van baggeren varen en storten), voor 2012 zijn enkel gegevens beschikbaar op weekniveau. Figuur 4 geeft de wekelijkse storthoeveelheden van slibrijke specie weer, uitgedrukt in m^3V (i.e. “betaalkuub”, een afgeleide eenheid die gehanteerd wordt waarbij de hoeveelheden omgerekend werden naar een fictieve densiteit van 2 t/m^3).

Over de beschouwde periode bedraagt de mediane wekelijkse storthoeveelheid (gecumuleerd voor de verschillende stortlocaties) $54765 \text{ m}^3\text{V}$, terwijl de 10% en 90% percentiele respectievelijk $13859 \text{ m}^3\text{V}$ en $111091 \text{ m}^3\text{V}$ bedragen.

Figuur 4 – Verloop wekelijkse storthoeveelheden “slib”



2.6 Voorbewerking

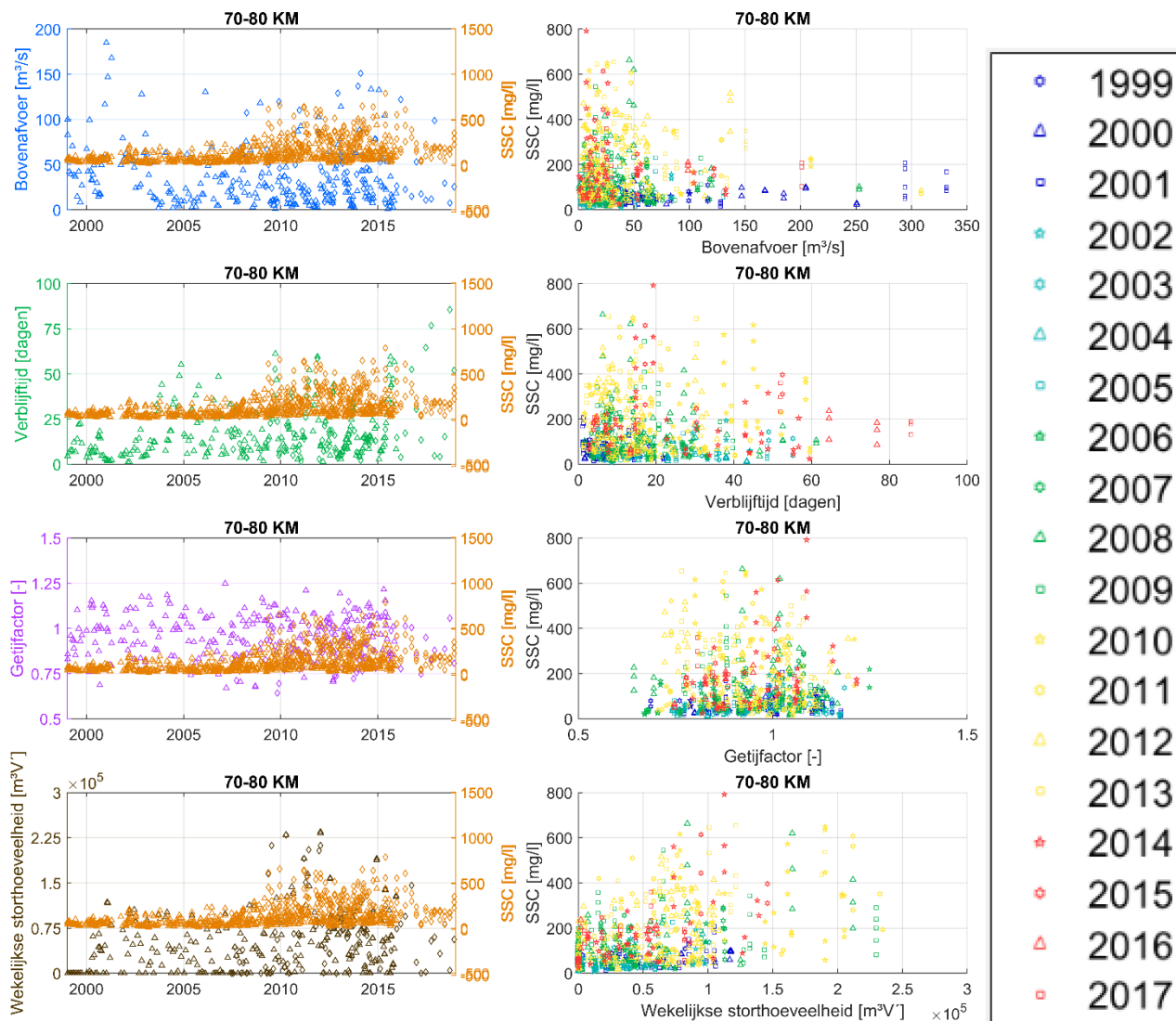
Alvorens het multivariate model kan berekend worden, werden een aantal voorbereidende stappen uitgevoerd. De respons-variabele (SSC) werd geassocieerd met een aantal eigenschappen:

- Type meting: 1 = HTE, 2 = schepstaal, 3 = OMES
- Ruimtelijke indeling: voor elke meting werd de afstand tot de monding toegewezen
- Stortingen: voor elke meting werd de storthoeveelheid in de week voorafgaande aan de meting bepaald; voor recente meting kon dit exact gebeuren op basis van de tripgegevens; voor oudere metingen (< 2012) werd de waarde genomen van de week voorafgaand aan de week waarin de meting plaatsvond;
- Verblijftijd: voor elke meting werd de verblijftijd op de dag van de meting bepaald;
- Getijfactor: voor elke meting werd de getijfactor op de dag van de meting bepaald;

Deze eigenschappen laten toe bovengenoemde indelingen (ruimtelijk, temporeel, type) uit te voeren en de multivariate analyses uit te voeren op de geselecteerde dataset.

In Bijlage A – scatterplots wordt per deelzone van 10 km een overzicht gegeven van enerzijds het verloop in de tijd van respectievelijk de bovenafvoer, de verblijftijd, de getijfactor en de wekelijkse storthoeveelheid in combinatie met de gemeten sedimentconcentratie, en anderzijds de relatie (aan de hand van een scatterplot) tussen de verschillende parameters en de gemeten sedimentconcentratie. In Figuur 5 wordt een voorbeeld weergegeven van dergelijke voorstelling, dit voor de zone tussen KM70 en KM80. In de tijdreeksen (linker helft) wordt per type meting een ander symbool (diamant = HTE, bol = schepstaal, driehoek = OMES) gebruikt, terwijl in de scatterplots een combinatie van verschillende symbolen en kleuren wordt gebruikt voor de verschillende jaren (zie legende).

Figuur 5 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 70-80
bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



3 Resultaten

De multivariate analyse werd steeds uitgevoerd gebruik makend van een spatiale bundeling van de metingen in blokken van 10 km. In eerste instantie werd nagegaan in welke mate de coëfficiënten variëren in de tijd (§ 3.1). Op basis van een breakpoint-analyse werd vervolgens bepaald welke periode optimaal gekozen kan worden voor het bepalen van de coëfficiënten om het ruimtelijk verloop langsheen het estuarium weer te geven, waarbij eveneens de verschillende meetcampagnes afzonderlijk beschouwd worden (§ 3.2). Tenslotte is ervoor gekozen een opdeling te maken van de beschikbare gegevens op basis van de verblijftijd, waarbij de coëfficiënten bepaald werden voor enerzijds de staalnames tijdens periodes met korte en anderzijds de staalnames tijdens periodes met lange verblijftijd (§ 3.3).

3.1 Variatie in de tijd

De multivariate analyse werd uitgevoerd op een subset van de beschikbare data waarbij zowel in de ruimte (blokken van 10 km) als in de tijd (voortschrijdend venster over periode van 3 jaar (één jaar voor en één jaar na het betreffende jaar) met tussenstap van één jaar, zie Bijlage B – temporele variatie) een selectie gebeurde. In Bijlage A – worden de resultaten weergegeven voor alle blokken van 10 km, Figuur 6 geeft het verloop weer voor een selectie, nl. één blok in de Beneden-Zeeschelde ter hoogte van de belangrijkste stortlocaties van slibrijke specie en één blok in de Boven-Zeeschelde nabij Dendermonde waar 's zomers hoge SSC waarden vastgesteld worden. Figuur 7 geeft het aantal beschikbare metingen weer voor beide blokken.

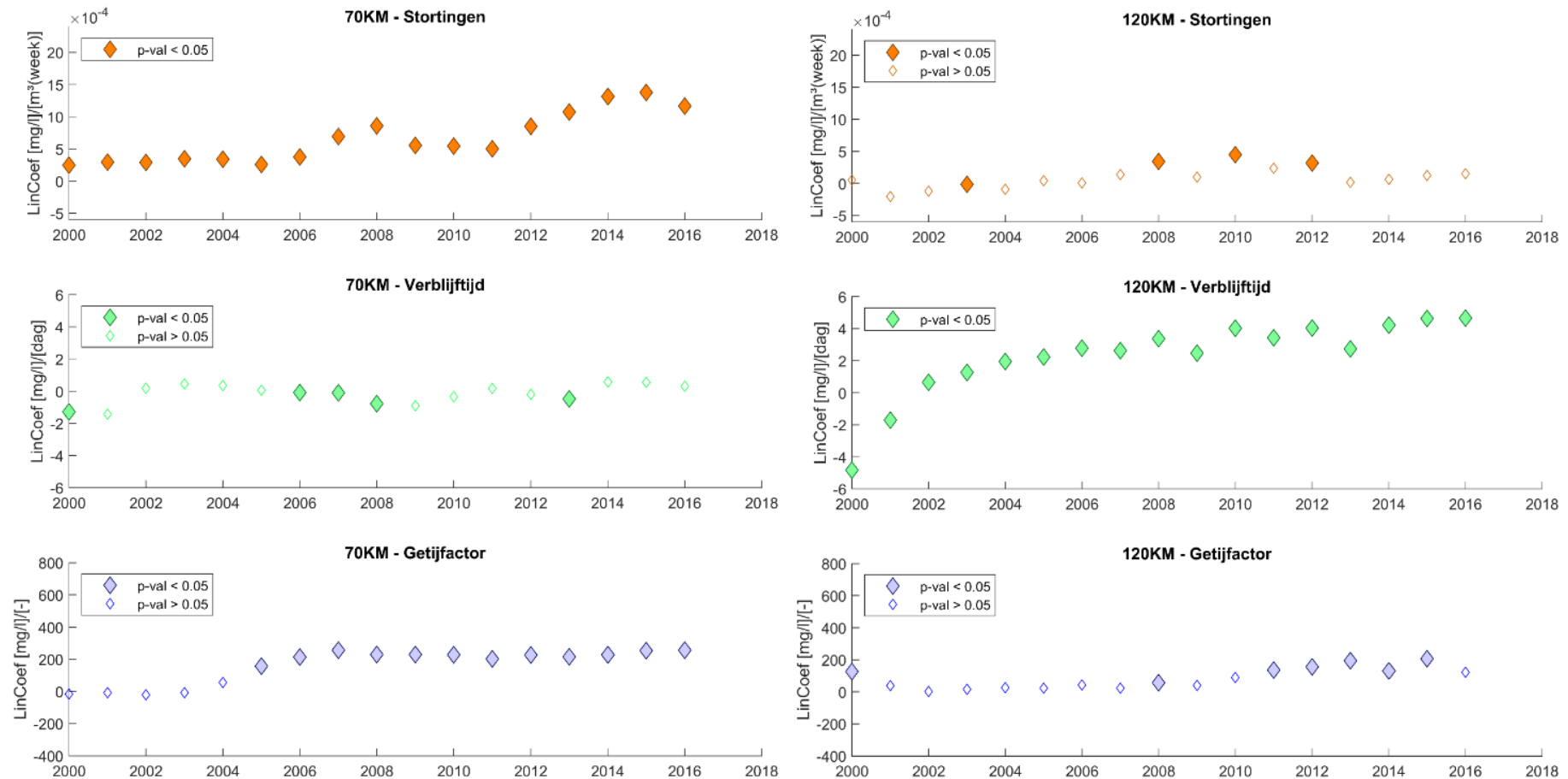
Voor de zone in de Beneden-Zeeschelde toont de multivariate analyse een significante ($p < 0,05$) relatie met de storthoeveelheden en de getijfactor. De verblijftijd geeft slechts in een beperkt aantal jaren een significante relatie. Er kan echter opgemerkt worden dat ondanks het niet-significant zijn van de relatie, de bekomen waarden gelijkaardig zijn aan deze voor de jaren waarin de relatie als significant worden beoordeeld.

De lineaire coëfficiënt voor de relatie met de storthoeveelheden vertoont tot 2006 een eerder stabiel verloop om vervolgens toe te nemen. De lineaire coëfficiënt voor de relatie met de verblijftijd varieert licht zonder uitgesproken patroon. De lineaire coëfficiënt voor de relatie met de getijfactor neemt in de periode 2004-2007 toe om vanaf 2007 eerder constant te zijn.

Voor de zone in de Boven-Zeeschelde toont de multivariate analyse een significante ($p < 0,05$) relatie met de verblijftijd, terwijl de relatie met de storthoeveelheden en de getijfactor veelal niet-significant is. De lineaire coëfficiënt voor de relatie met de storthoeveelheden vertoont sinds 2004 een beperkte toename. De lineaire coëfficiënt voor de relatie met de verblijftijd neemt initieel sterk toe, om vanaf 2004 verder toe te nemen maar trager. De lineaire coëfficiënt voor de relatie met de getijfactor is initieel eerder constant en om vanaf 2008 licht toe te nemen.

Op basis van het verloop van deze coëfficiënten kan op basis van een breakpoint-analyse nagegaan worden of, en zo ja wanneer, er een trendbreuk optreedt. Deze analyse is binnen het pakket "R" uitgevoerd voor de verschillende coëfficiënten per blok van 10 km (functie "breakpoints"). Binnen deze functie is vastgelegd dat de minimale lengte van de periode vooraleer een trendbreuk kan geïdentificeerd worden 5 jaar moet zijn, alsook dat gezocht moet worden naar maximaal één breakpoint. Tabel 1 geeft een overzicht van de jaren waar er een trendbreuk is teruggevonden. Wanneer er geen waarde opgenomen, betekent dit dat er geen trendbreuk kon worden geïdentificeerd.

Figuur 6 – Verloop in de tijd van de lineaire coëfficiënten voor zone KM 70-80 (links) en KM120-130 (rechts)

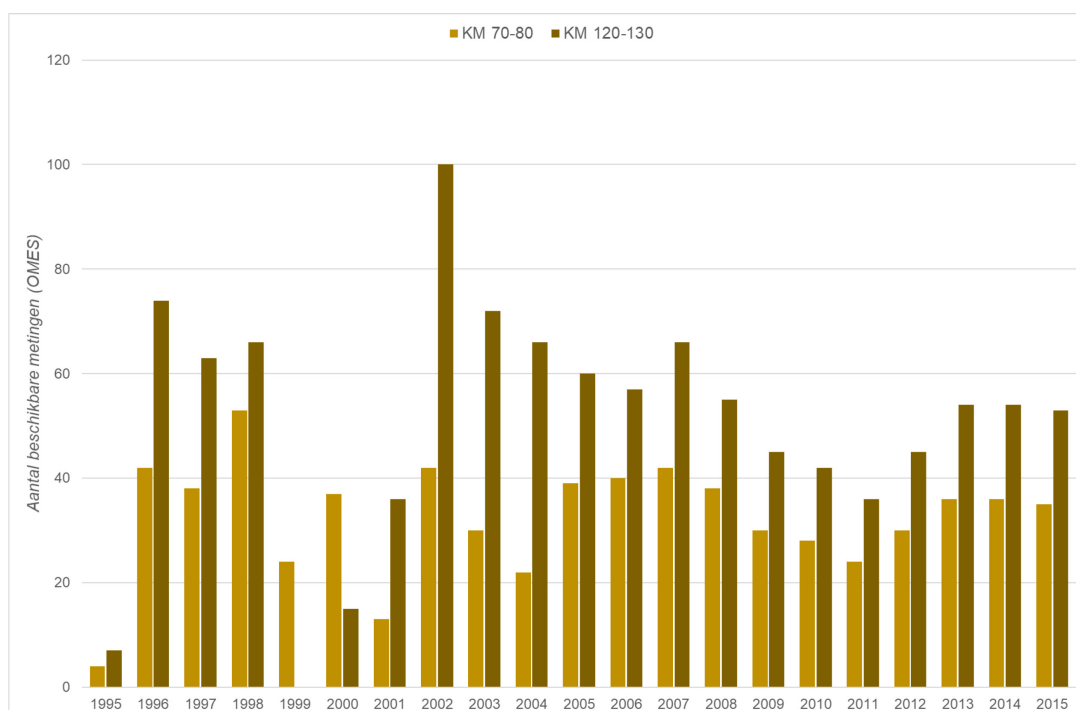


Tabel 1 – Overzicht jaren waarin “breakpoint” optreedt

<i>KM</i>	<i>Stort</i>	<i>VVT</i>	<i>GF</i>
50	2005	2004	2005
60	-	2004	-
70	2011	2004	2004
80	2011	2009	2009
90	2004	-	2007
100	-	2004	2008
110	2008	2004	2010
120	2007	2004	2004
130	-	2004	2004
140	2006	2004	2004
150	-	2004	2004

Uit bovenstaande tabel kan worden afgeleid dat voor de relatie met de verblijftijd voor het merendeel van zones een trendbreuk wordt geïdentificeerd tussen 2004-2005. Voor de getijfactor ligt de trendbreuk in hetzelfde jaar voor de helft van de zones (vooral opwaartse zones), maar is er eveneens een grotere spreiding in het moment van trendbreuk. Voor de storthoeveelheden blijkt er een grote variatie aanwezig te zijn. Ter hoogte van de belangrijkste stortlocaties (KM 70-80) treedt de trendbreuk op in 2011-2012, maar voor de Boven-Zeeschelde ligt dit vroeger (2006-2008) of is er geen sprake van een trendbreuk.

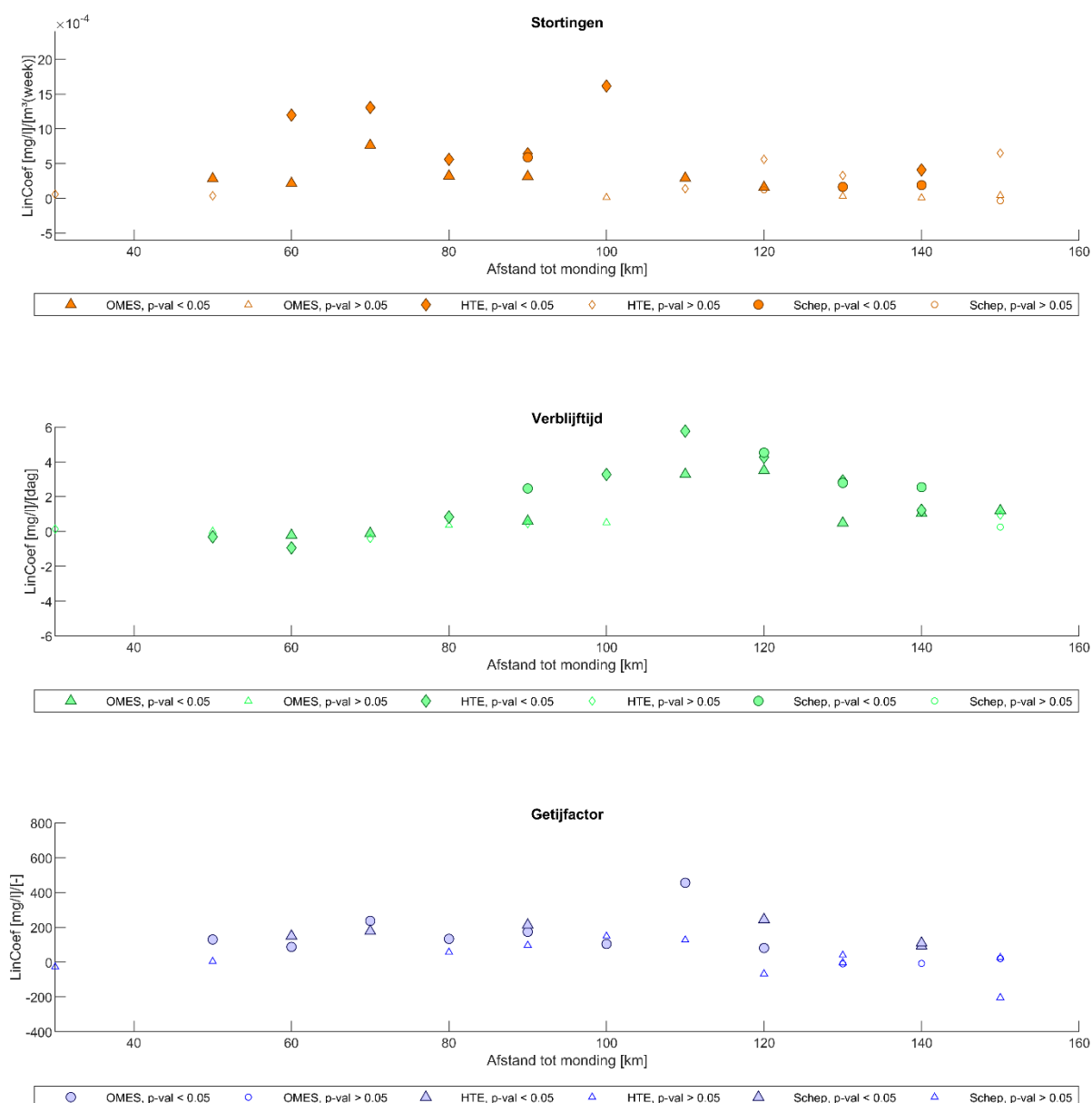
Figuur 7 – Aantal beschikbare metingen (OMES-dataset) per kalenderjaar



3.2 Variatie in de ruimte

Op basis van de breakpoint-analyse bevindt een groot deel van de trendbreuken zich in 2004. Daarom is ervoor gekozen de multivariate analyse uit te voeren op de verschillende datasets vanaf 1/1/2005. Figuur 8 geeft het ruimtelijk verloop weer van de verschillende lineaire coëfficiënten waarbij onderscheid gemaakt is tussen het type van meetcampagne. De coëfficiënten vertonen slechts een kleine variatie voor de verschillende meetcampagnes, wat de complementariteit van de verschillende meetcampagnes bevestigt. Op een beperkt aantal punten is echter wel een aanzienlijk verschil tussen met name de HTE-metingen en de OMES-metingen. De respons berekend uit de HTE-metingen ligt algemeen hoger dan deze uit de OMES-metingen, wat verklaard kan worden door het verschil in diepte van de staalname: bij OMES is dit nabij het wateroppervlak, bij de HTE-metingen is dit ca. 1m onder het wateroppervlak. Er kan verwacht worden dat de SSC toeneemt met de waterdiepte, zodat de variatie bij de HTE-metingen ook sterker is.

Figuur 8 – Verloop in de ruimte van de coëfficiënten voor storthoeveelheden (boven), verblijftijd (midden) en getijfactor (onder)
Opmerking: Verschillende symbolen geven verschillende meetcampagnes weer, zie legende

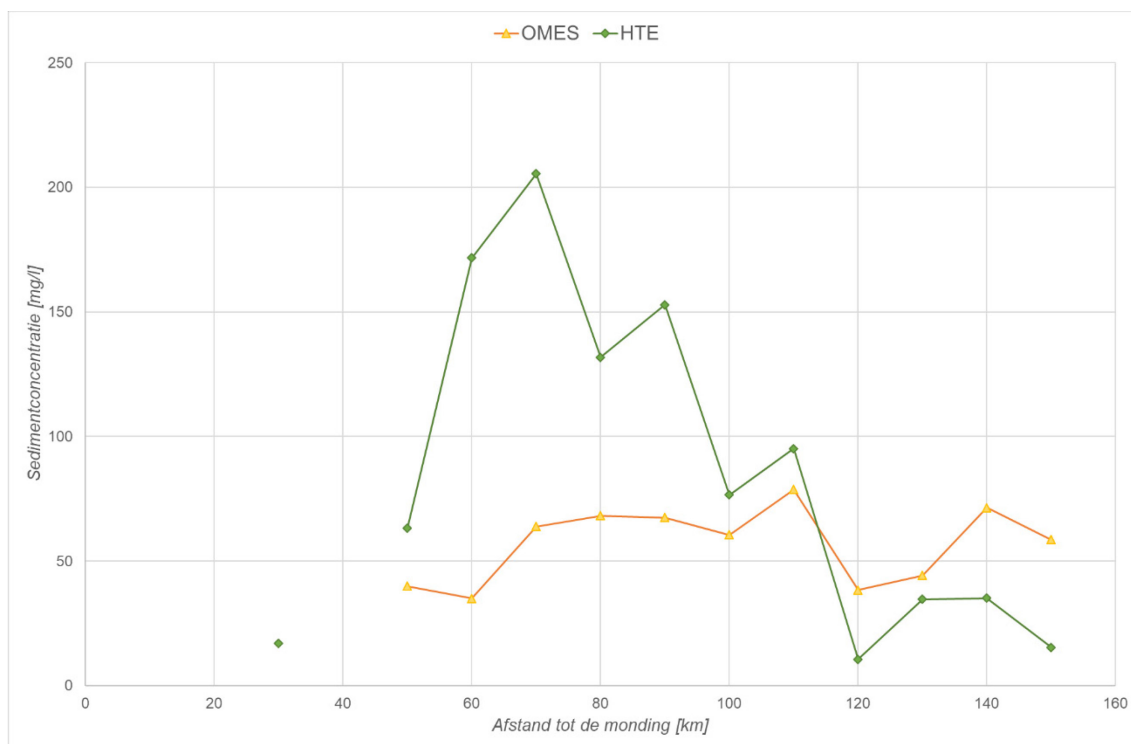


De stortingen (Figuur 8 – boven) tonen de grootste waarden van de coëfficiënt in de zone waar eveneens de stortingen plaatsvinden (i.e. KM 70-80). De waarde van de lineaire coëfficiënt varieert tussen 7 (OMES) en 13 (HTE) mg/l per 10000 m³V' (p-waarde < 1E-20). Naarmate meer opwaarts gegaan wordt, neemt de waarde van de lineaire coëfficiënt af en stijgt de p-waarde in bepaalde zone boven de 0,05. Voor de Boven-Zeeschelde (KM 100-140) varieert de lineaire coëfficiënt tussen 0 en 5 mg/l per 10000 m³V'.

De verblijftijd (Figuur 8 – midden) geeft de grootste waarden van de coëfficiënt in het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde (KM 100-120). De waarde van de lineaire coëfficiënt varieert tussen 3 en 6 mg/l per dag (p-waarde < 1E-10). Zowel meer opwaarts als afwaarts neemt de waarde van de coëfficiënt af, waarbij in de Beneden-Zeeschelde (KM 50-80) de waarde negatief wordt. Dit betekent dat bij een langere verblijftijd de sedimentconcentratie afneemt. De fysische verklaring van de relatie is te zoeken in het residuele transport naar opwaarts bij langere verblijftijd (i.e. lage bovenafvoer): de Beneden-Zeeschelde ontvangt in dergelijke periodes sediment-arm Westerschelde water waardoor de sedimentconcentratie daalt.

De lineaire coëfficiënt van de getijfactor (Figuur 8 – onder) is, in combinatie met het snijpunt, een maat voor de achtergrondconcentratie bij een gemiddeld getij (i.e. getijfactor = 1). Zowel de coëfficiënt van de getijfactor als het snijpunt kennen een aanzienlijke ruimtelijke variatie. De som van beide wordt weergegeven in Figuur 9. Hieruit blijkt dat op basis van de OMES-metingen de mate van achtergrondconcentratie in het opwaartse deel van de Beneden-Zeeschelde en het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde (KM 70-110) varieert rond 65 mg/l. Op- en afwaarts ligt de waarde lager (~ 40 mg/l) om in het meest opwaartse deel terug hoger te liggen (~ 60-70 mg/l). Op basis van de HTE-metingen is het verloop verschillend: de hoogste waarden (~ 200 mg/l) zijn terug te vinden in de Beneden-Zeeschelde en zowel in de Westerschelde als de Boven-Zeeschelde liggen de waarden lager. Hoewel de combinatie van beide termen een inschatting geeft van de achtergrondconcentratie, dient dit met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden aangezien ook de andere factoren (zowel in het model beschouwde, zoals verblijftijd, als niet in het model beschouwde) een bijdrage leveren aan de werkelijke sedimentconcentratie.

Figuur 9 – Verloop in de ruimte van de coëfficiënten voor getijfactor in combinatie met snijpunt



3.3 Variatie met verblijftijd

Door IMDC werd een analyse uitgevoerd waarbij een expliciet onderscheid gemaakt werd tussen periodes met hoge en lage bovenafvoer. Aangezien binnen voorliggende studie de bovenafvoer vervangen werd door de verblijftijd, is ter vergelijking met de eerdere studie, onderzocht wat de variatie van de verschillende coëfficiënten is voor periodes met lange en korte verblijftijd. Als grenswaarde is een verblijftijd van 15 dagen (~ mediane waarde over de periode) gehanteerd. Figuur 10 geeft het verloop in de ruimte weer van de verschillende lineaire coëfficiënten waarbij een onderscheid is gemaakt tussen de staalnames van de OMES-metingen met lange (> 15 dagen) en korte (< 15 dagen) verblijftijd. Bijlage C – temporele variatie en invloed verblijftijd geeft de resultaten weer voor de verschillende zones in het estuarium.

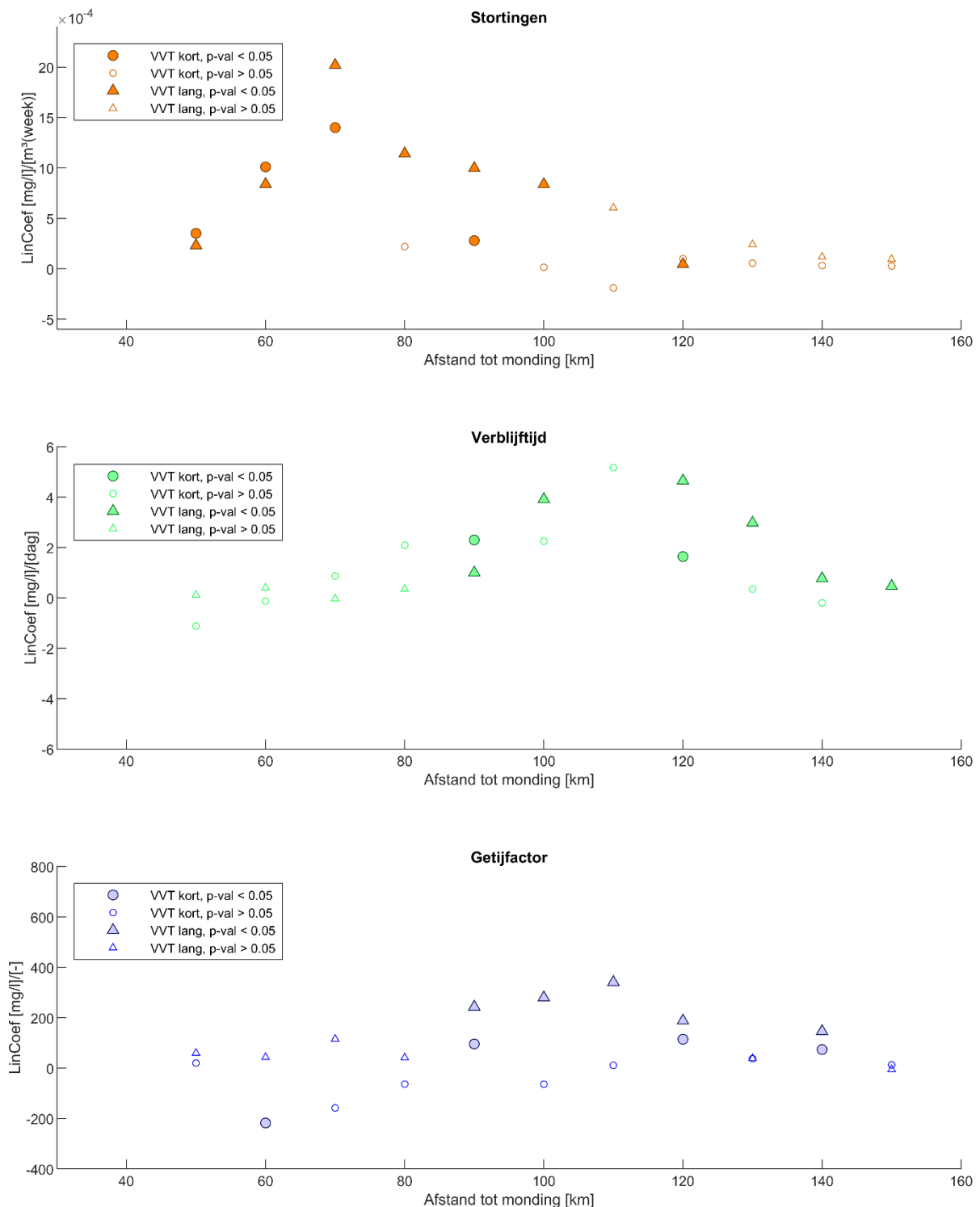
De coëfficiënten voor de stortingen (Figuur 10 – boven) voor periodes met korte en lange verblijftijd zijn quasi gelijk in het meest opwaartse en meest afwaartse deel. Enkel in het opwaartse deel van de Beneden-Zeeschelde en het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde (KM 70-110) wijken deze van mekaar af. De coëfficiënten in periodes met lange verblijftijd liggen hier ca. een factor 2 groter ten opzichte van periodes met korte verblijftijd. Een mogelijke verklaring is te vinden in het feit dat bij lange verblijftijden de gestorte specie minder makkelijk uitgespoeld wordt, met voor zeer lange verblijftijd zelfs opwaarts transport van sediment. In periodes met korte verblijftijd is de relatie enkel in het meest afwaartse deel significant, terwijl dit door de periodes met lange verblijftijd tot KM 100 is.

De coëfficiënten voor de verblijftijd (Figuur 10 – midden) voor periodes met korte en lange verblijftijd zijn eveneens quasi gelijk in het meest opwaartse en meest afwaartse deel. Enkel in het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde (KM 100-130) wijken deze van mekaar af. De coëfficiënten in periodes met lange verblijftijd liggen hier ca. een factor 2 groter ten opzichte van periodes met korte verblijftijd.

Voor de getijfactor vertonen de lineaire coëfficiënten (Figuur 10 – onder) grotere variatie, zonder uitgesproken tendensen.

Op basis van deze gekozen indeling op basis van de verblijftijd, blijkt de respons van de sedimentconcentratie meer uitgesproken te zijn voor de verschillende verklarende factoren in periodes met lange verblijftijd.

Figuur 10 – Verloop in de ruimte van de coëfficiënten voor storthoeveelheden (boven), verblijftijd (midden) en getijfactor (onder) voor korte en lange verblijftijd



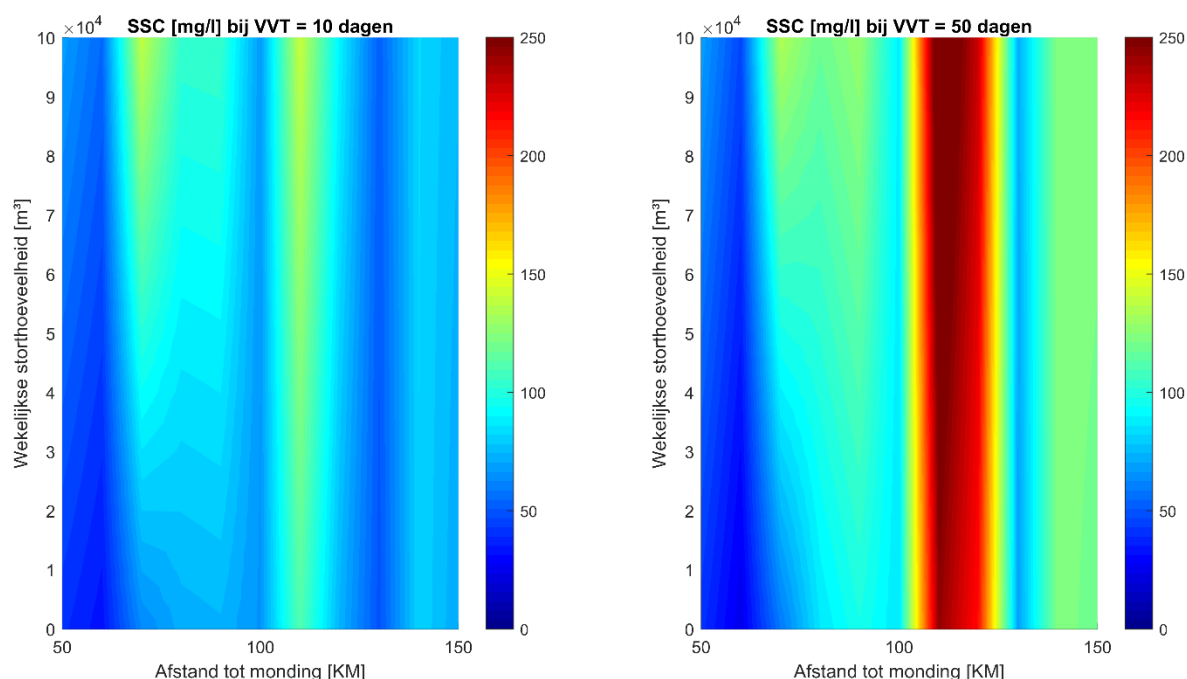
4 Scenario's

Het multivariate model laat toe de invloed van de verschillende verklarende parameters (wekelijkse storthoeveelheid, verblijftijd, getijfactor) op de responsvariabele (SSC) in te schatten. Op basis van de lineaire coëfficiënten bekomen op basis van de OMES-dataset (omwille van uniformiteit data) vanaf 2005 (omwille van het gevonden breakpoint), wordt in de volgende paragrafen een verkenning uitgevoerd naar de invloed van de stortingen (§ 4.1) en de verblijftijd (§ 4.2). De getijfactor is in deze scenario's gelijk gehouden (=1).

4.1 Invloed van stortingen

Figuur 11 toont een overzicht van de sedimentconcentratie langsheen de Zeeschelde in functie van de wekelijkse storthoeveelheid, voor zowel een korte als lange verblijftijd. In beide situaties is er een maximum in sedimentconcentratie rond KM 100-120. Ook tonen beide situaties een toename in sedimentconcentratie bij toenemende storthoeveelheden, die het meest uitgesproken is nabij de stortlocaties (i.e. zone KM 70-80). Ook in de overige delen van de Zeeschelde is een toename in SSC te zien, doch minder uitgesproken. Bij een korte verblijftijd bereikt de SSC ter hoogte van de stortlocaties een gelijke waarde van de zone opwaarts wanneer er ca. 100000 m³ per week wordt gestort. In periode van lange verblijftijd blijft de SSC in de Boven-Zeeschelde steeds hoger dan in de Beneden-Zeeschelde.

Figuur 11 – Invloed van storthoeveelheid op SSC bij korte (10 dagen, links) en lange (50 dagen, rechts) verblijftijd

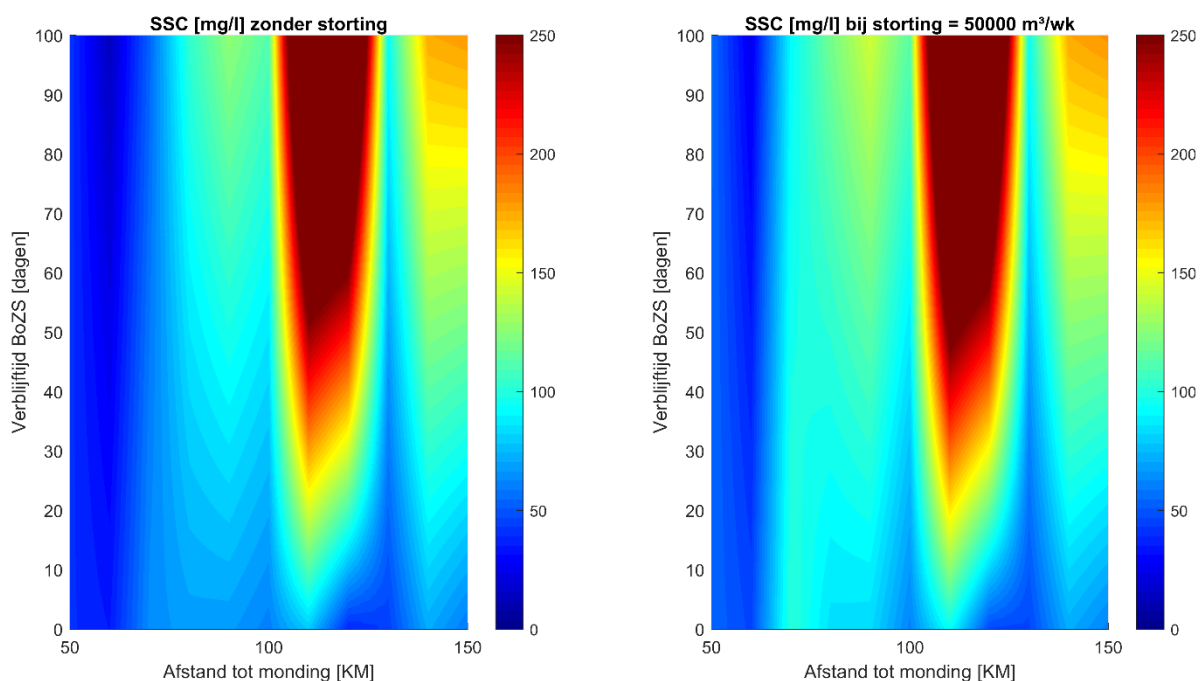


4.2 Invloed van verblijftijd

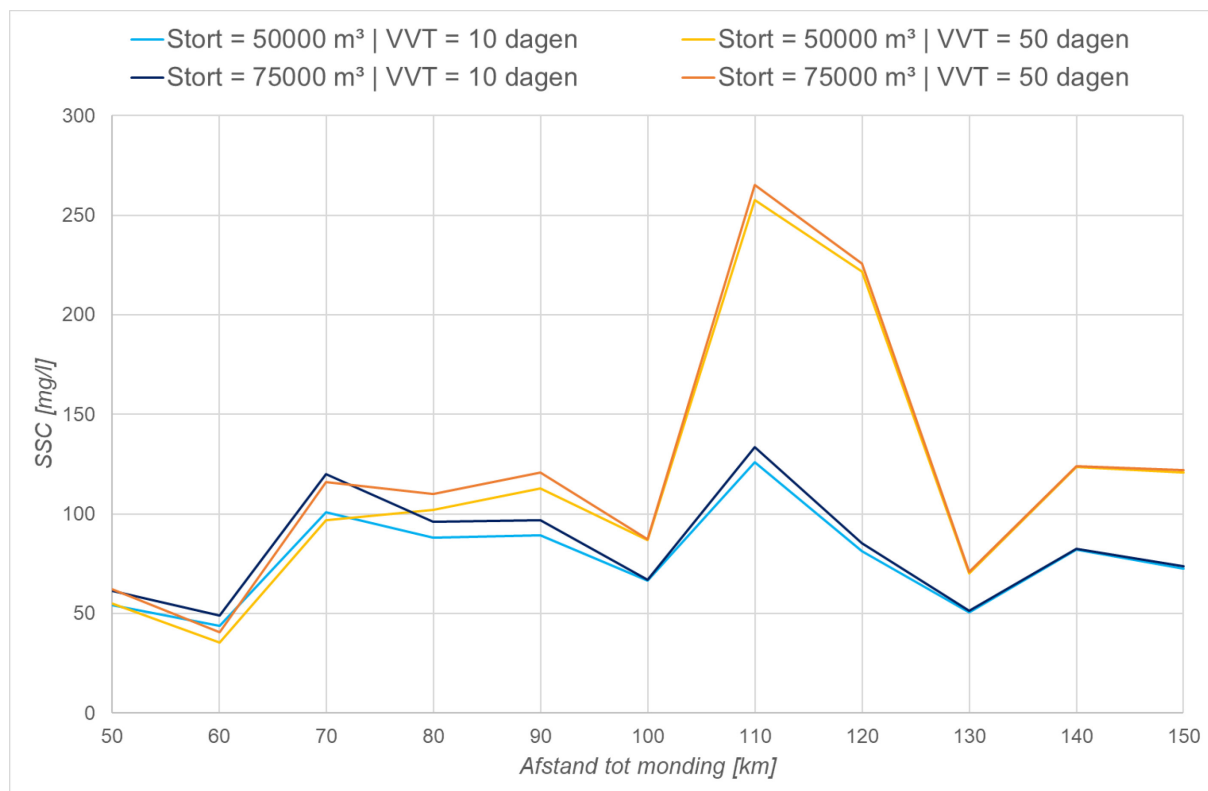
Figuur 12 toont een overzicht van de sedimentconcentratie langsheen de Zeeschelde in functie van de verblijftijd, voor zowel een situatie met als zonder stortingen. Ook hier is er in beide situaties een maximum in sedimentconcentratie rond KM 100-120, dat zich sterker manifesteert bij langere verblijftijden.

Figuur 13 toont het langsverloop van de SSC voor een beperkt aantal situaties: enerzijds een korte en lange verblijftijd, anderzijds een gemiddelde en verhoogde wekelijkse storthoeveelheid. Hieruit blijkt dat in de Beneden-Zeeschelde de belangrijkste invloed komt van de stortingen (~ 7 mg/l per 10000 m³V' slib). In de Boven-Zeeschelde is de belangrijkste invloed toe te schrijven aan de verblijftijd ($\sim 3,5$ mg/l per dag).

Figuur 12 – Invloed van verblijftijd op SSC zonder (links) en met storting (50000 m³, rechts)



Figuur 13 – Langsprofiel SSC voor verschillende scenario's inzake storthoeveelheid en verblijftijd



5 Conclusies

In het kader van verschillende projecten, waaronder het Complex Project Extra Containercapaciteit Antwerpen, is het van belang de impact van bepaalde factoren op het systeem te kunnen inschatten. Zowel voor toegankelijkheid (onderhoudsbaggerwerk) als ecologie (sedimentatie slikken/schorren, primaire productie) speelt de sedimentconcentratie een belangrijke rol. In het verleden werden zowel numerieke modellen als data-analyses gebruikt om het effect van een bepaalde ingreep op de sedimentconcentratie in te schatten. Eén van de tools die hiervoor opgesteld is, is een multivariaat model dat aan de hand van verschillende (9) invloedsfactoren, de variatie in de sedimentconcentratie tracht te verklaren (International Marine and Dredging Consultants, 2016, 2017).

Omwille van het belang van dergelijke tools en de algemene beschikbaarheid ervan, is binnen voorliggend rapport een multivariate analyse uitgevoerd waarbij slechts 3 verklarende parameters beschouwd werden: (1) de wekelijkse storthoeveelheid, (2) de verblijftijd en (3) de getijfactor. Deze parameters bleken uit de eerdere studie de belangrijkste bijdrage te leveren. In tegenstelling tot de studie van IMDC, werden naast de OMES-dataset ook bijkomende gegevens gebruikt uit metingen van het Waterbouwkundig Laboratorium (schepstalen en HTE-vaarten).

Een eerste analyse werd uitgevoerd waarin op basis van data over een periode van 3 jaar (voortschrijdend venster met tussenstap van één jaar) de lineaire coëfficiënten werden bepaald en er nagegaan werd of er in de periode 1999-2018 een trendbreuk aanwezig is. Voor de verblijftijd bleek er in het merendeel van de locaties een trendbreuk aanwezig te zijn in 2004-2005. Voor de getijfactor was dit meer gespreid, al bleek dit voor een aantal locaties eveneens in 2004-2005 te zijn. Voor de wekelijkse storthoeveelheden was dit sterk gespreid over verschillende jaren. Op basis hiervan werd besloten de analyse verder uit te voeren voor de data uit de periode 2005 tot en met 2018.

Een tweede analyse betrof de uitwisselbaarheid van de data uit verschillende meetcampagnes. De verschillende lineaire coëfficiënten vertonen een gelijkaardig patroon voor de verschillende meetcampagnes. De coëfficiënten voor de verschillende verklarende parameters bepaald voor de data van de HTE-vaarten bleek systematisch hoger te liggen dan deze uit de OMES-metingen. Dit kan toegeschreven worden aan het verschil in meetmethode, waar tijdens de HTE-vaarten een pompstaal ca. 1m onder het wateroppervlak wordt genomen, wordt bij een OMES-vaart een schepstaal genomen nabij het wateroppervlak. Desalniettemin wijken de waarden van de coëfficiënten voor de verschillende meetcampagnes weinig af wat de onderlinge uitwisselbaarheid bevestigt.

Het multivariate model laat toe de bijdrage van de verschillende verklarende factoren in te schatten. Met behulp van de bepaalde lineaire coëfficiënten kan dan ook de invloed van één of meer factoren bestudeerd worden. Uit de scenario's blijkt dat in de Beneden-Zeeschelde de belangrijkste invloed komt van de stortingen ($\sim 7 \text{ mg/l}$ per $10000 \text{ m}^3\text{V}$ slib). In de Boven-Zeeschelde is de belangrijkste invloed toe te schrijven aan de verblijftijd ($\sim 3,5 \text{ mg/l}$ per dag).

Het multivariate model biedt dus de mogelijkheid om de invloed van bepaalde wijzigingen in de verklarende parameters op de sedimentconcentratie te bestuderen. Belangrijk hierbij is dat de verklarende parameters slechts geldig zijn voor de manier waarop ze in de analyse werden meegenomen. De invloed van bv. een nieuwe stortlocatie kan niet nagegaan worden.

6 Referenties

International Marine and Dredging Consultants. (2016). Multivariate analyse van metingen van sedimentconcentratie in de Zeeschelde.

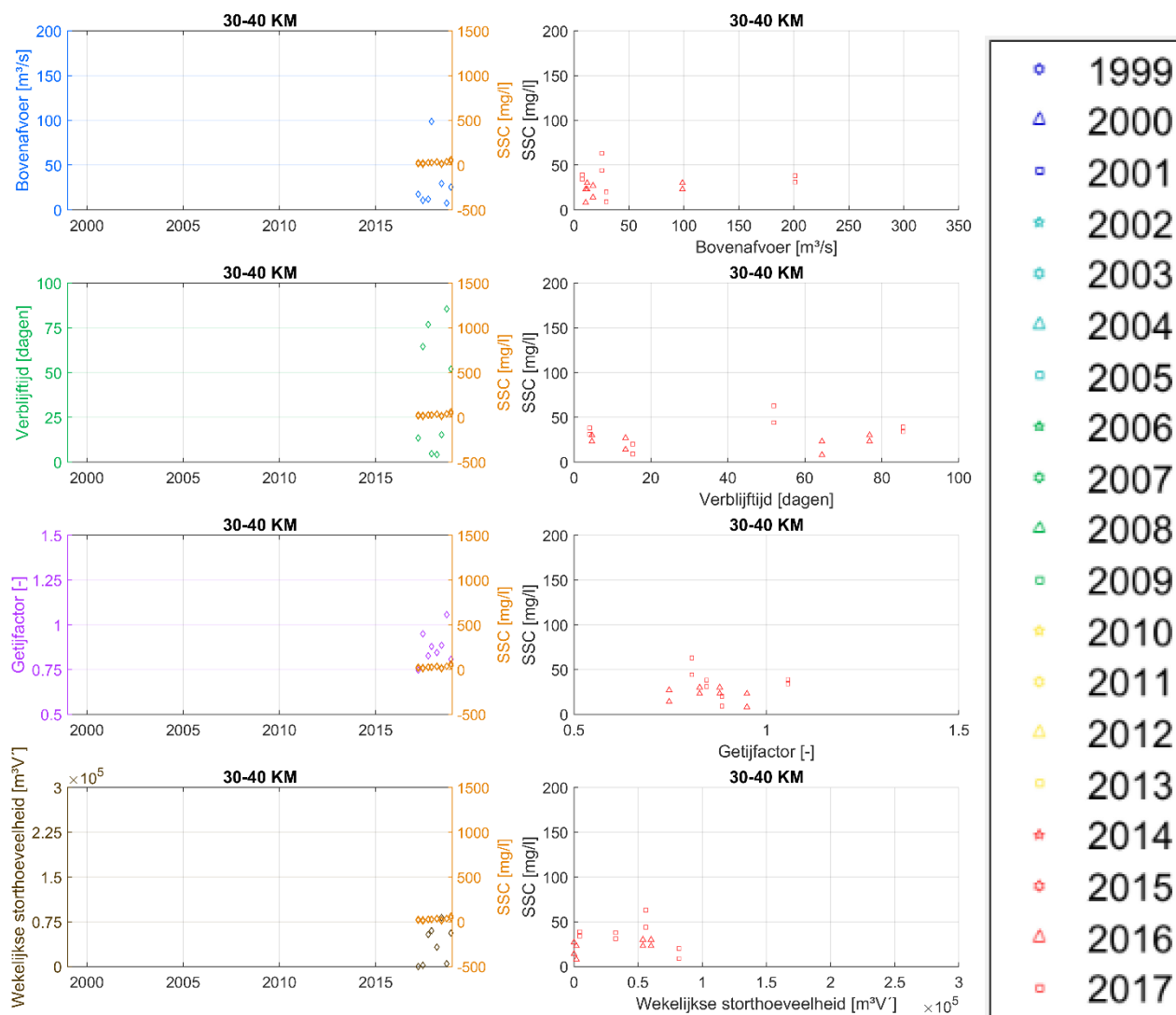
International Marine and Dredging Consultants. (2017). Multivariate analyse van de sedimentconcentraties in de Zeeschelde op basis van Omes oppervlakte stalen. 59 pp.

Maris, T.; Meire, P. (2017). Onderzoek naar de gevolgen van het Sigmaplan, baggeractiviteiten en havenuitbreiding in de Zeeschelde op het milieu. Geïntegreerd eindverslag van het onderzoek verricht in 2016. 158 pp.

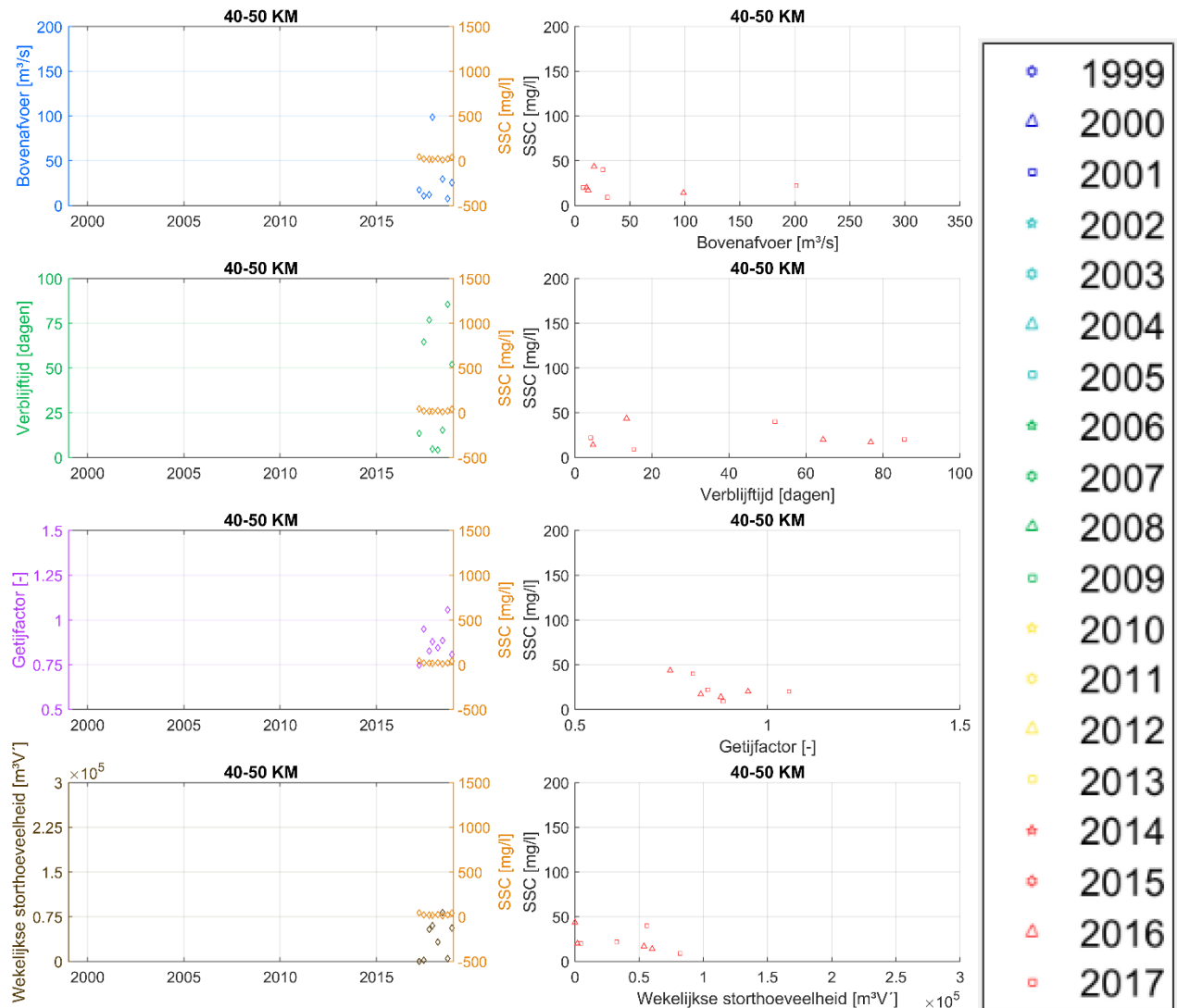
Plancke, Y.; Van De Moortel, I.; Hertogs, R.; Vereecken, H.; Vos, G.; Verdoodt, N.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2017). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2016: deelrapport 6. Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2016. versie 4.0. *WL Rapporten, 12_070_6*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=291098>

Bijlage A – Scatterplots

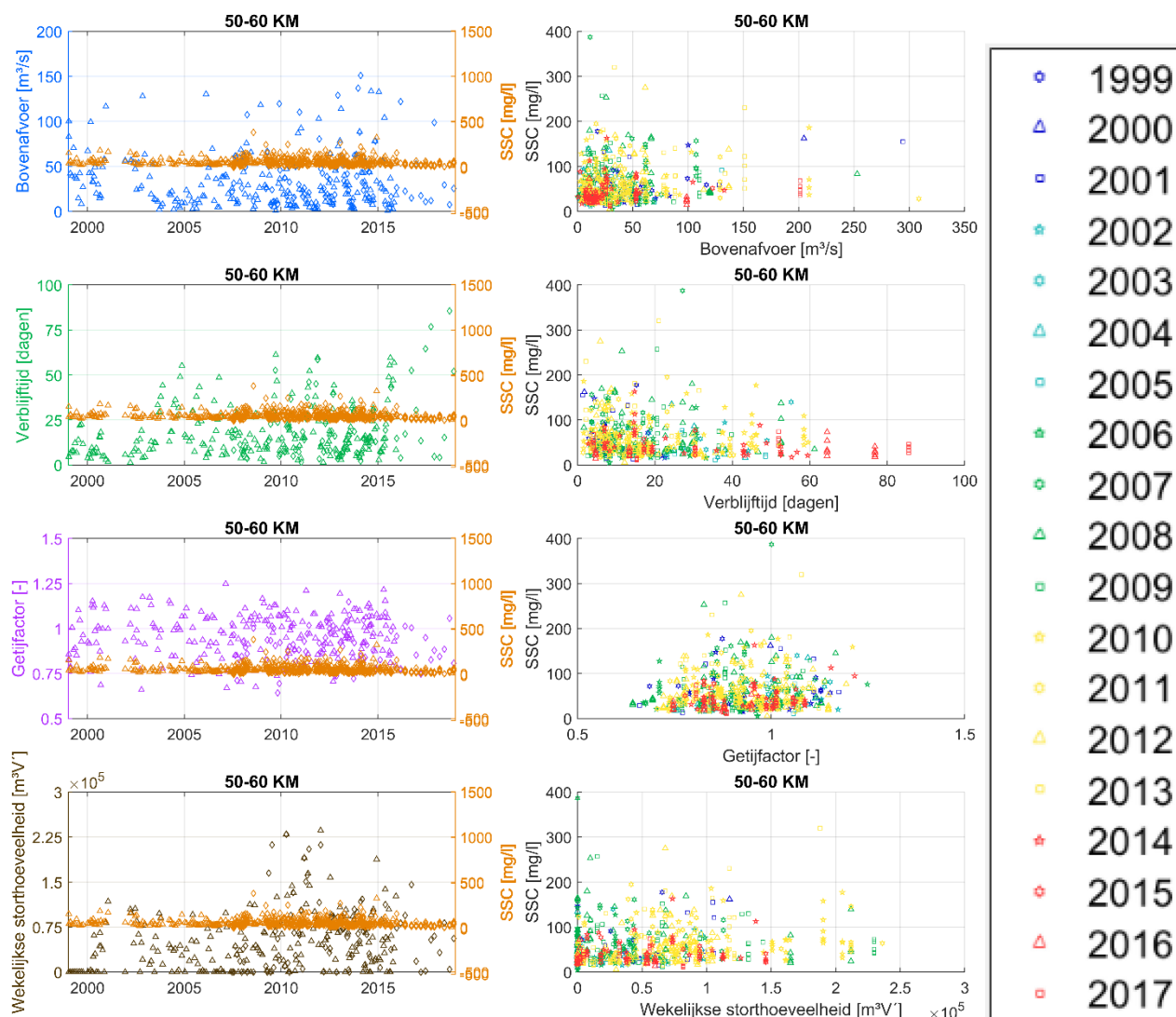
Figuur 14 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 30-40 bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



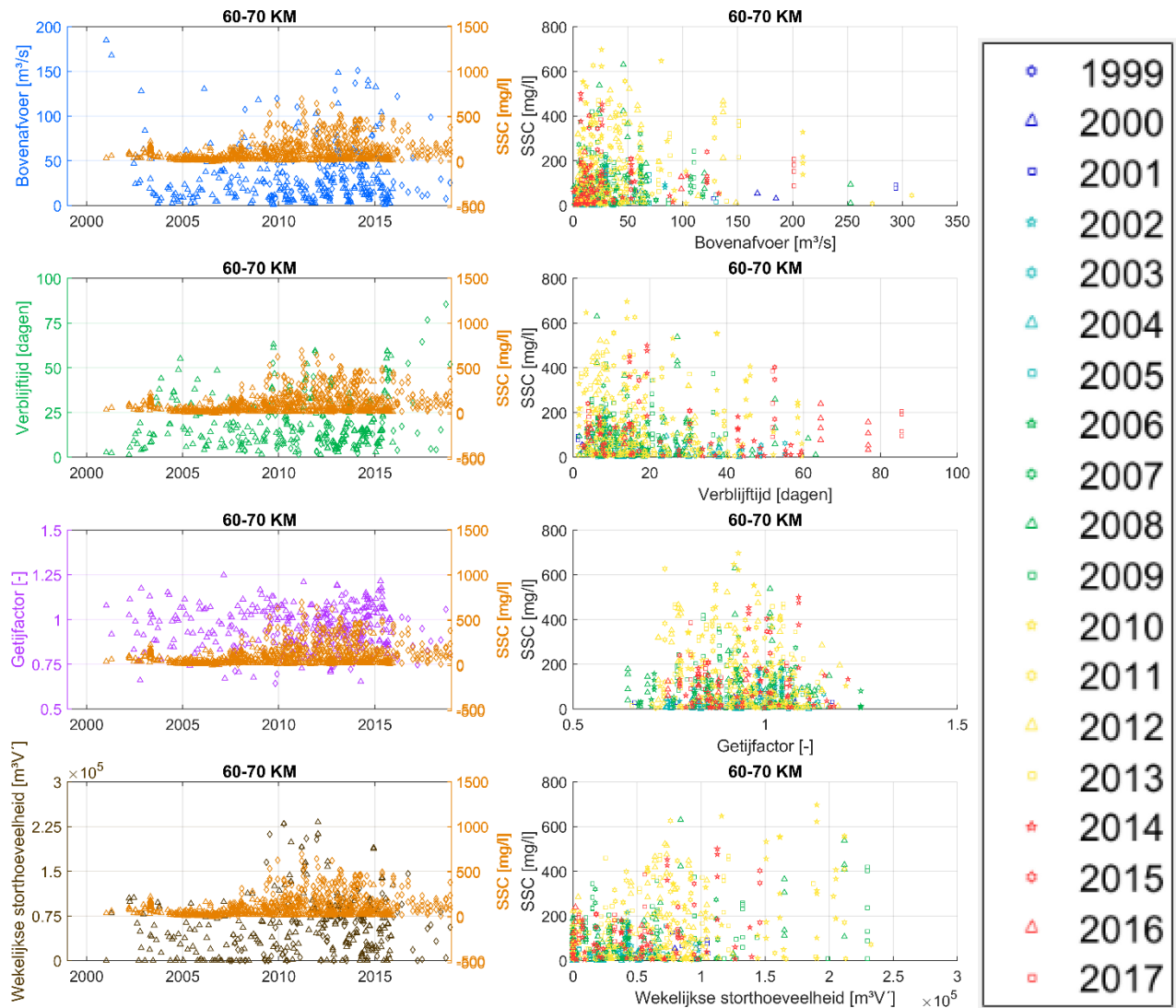
Figuur 15 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 40-50
bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



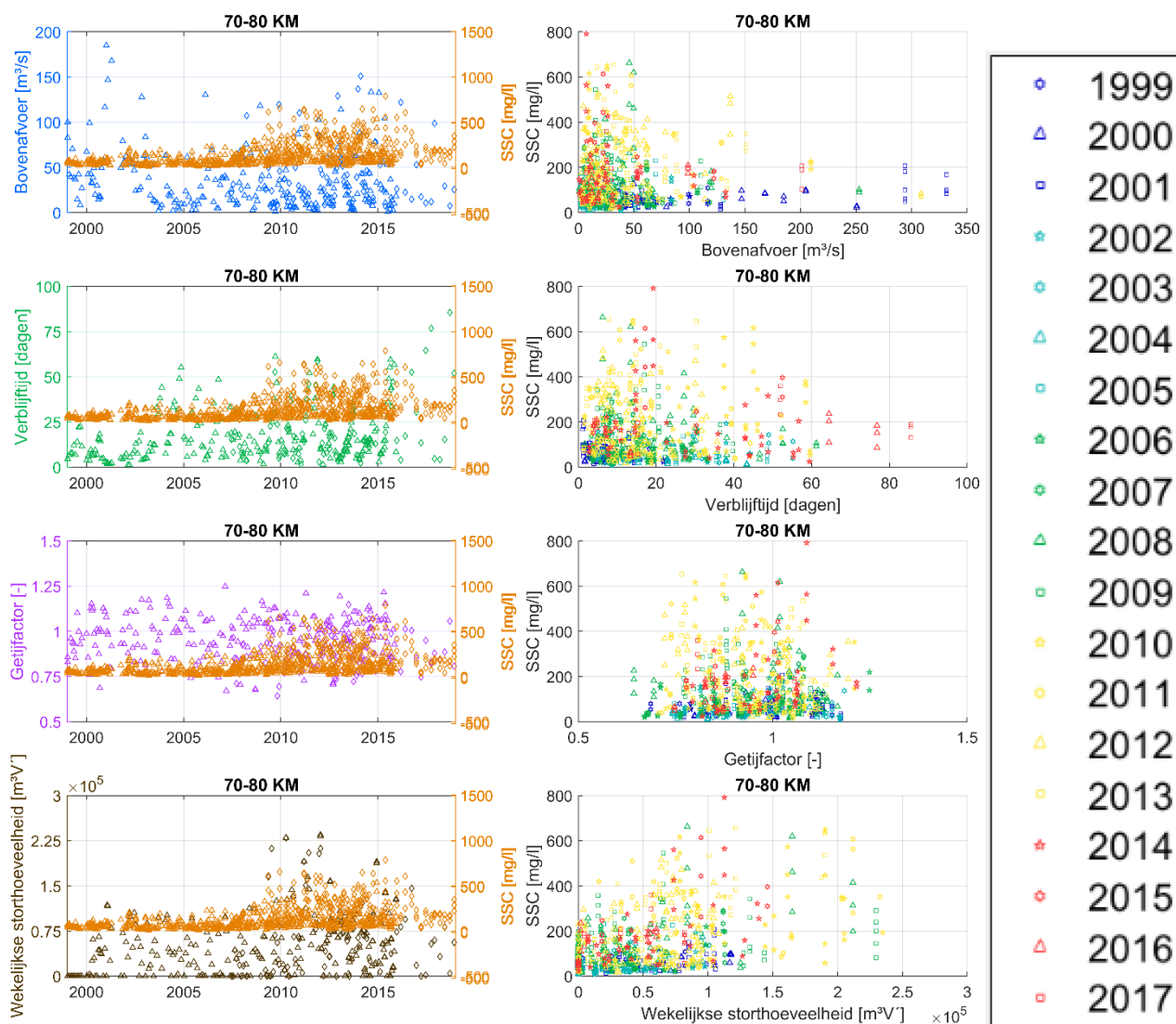
Figuur 16 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 50-60
bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



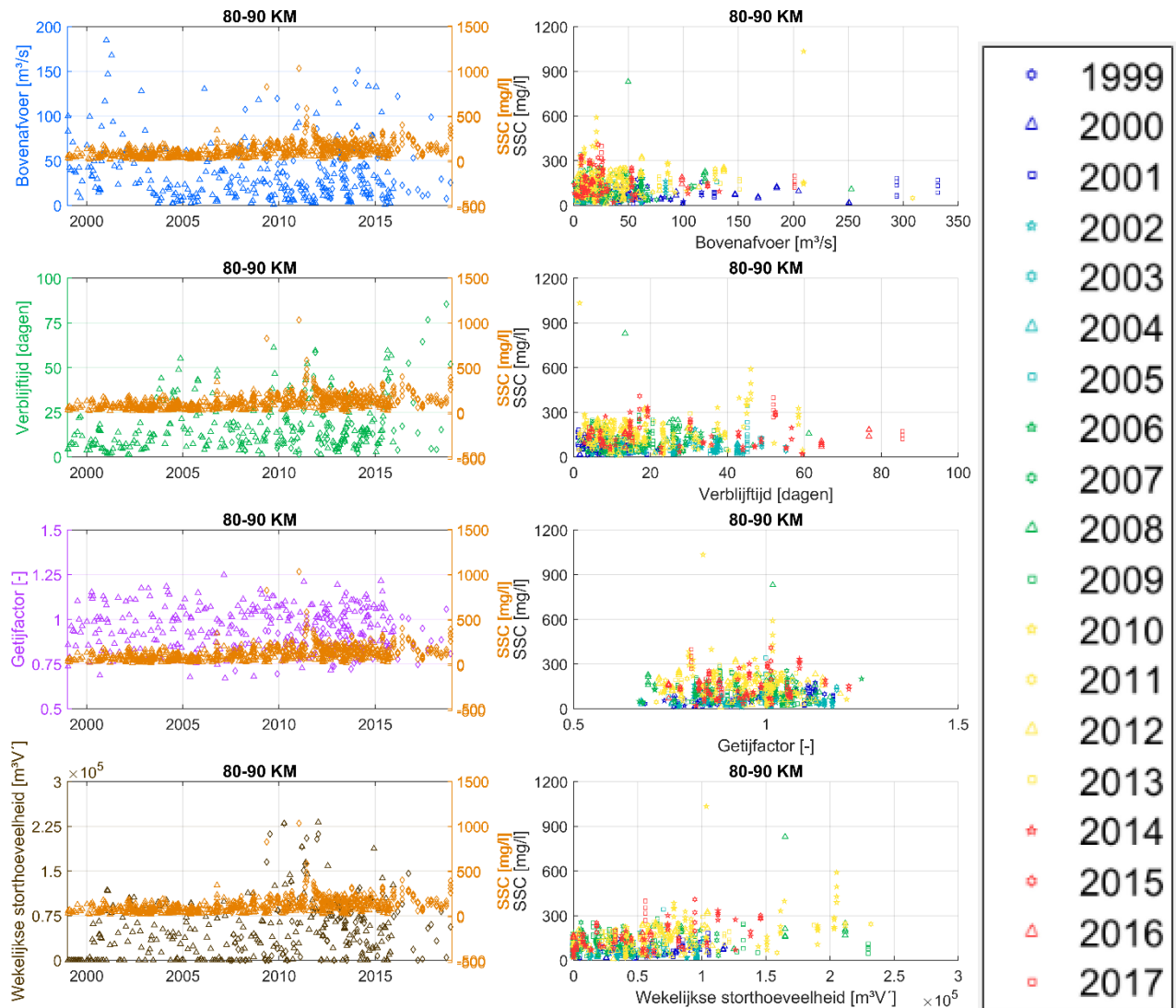
Figuur 17 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 60-70
bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



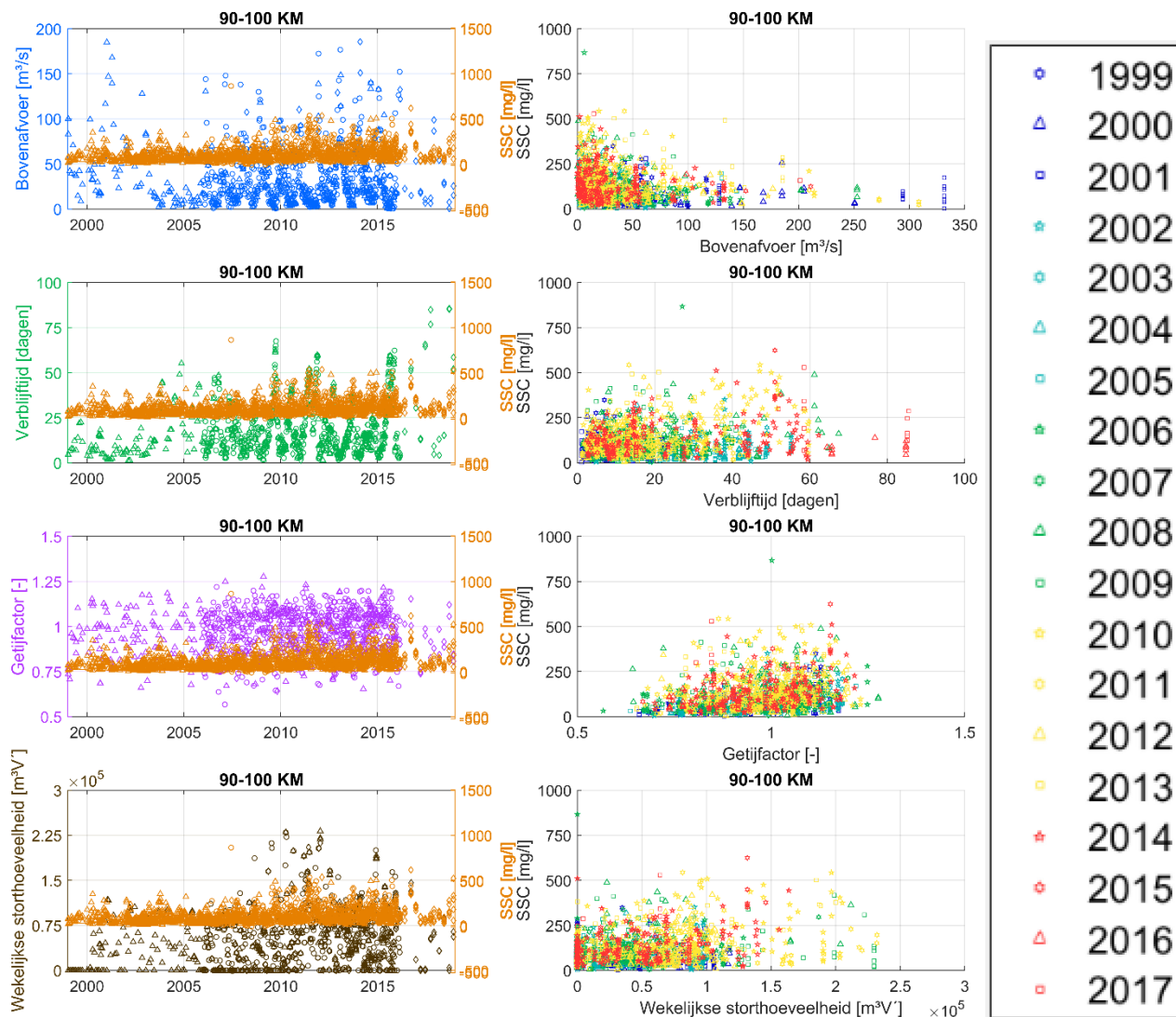
Figuur 18 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 70-80
bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



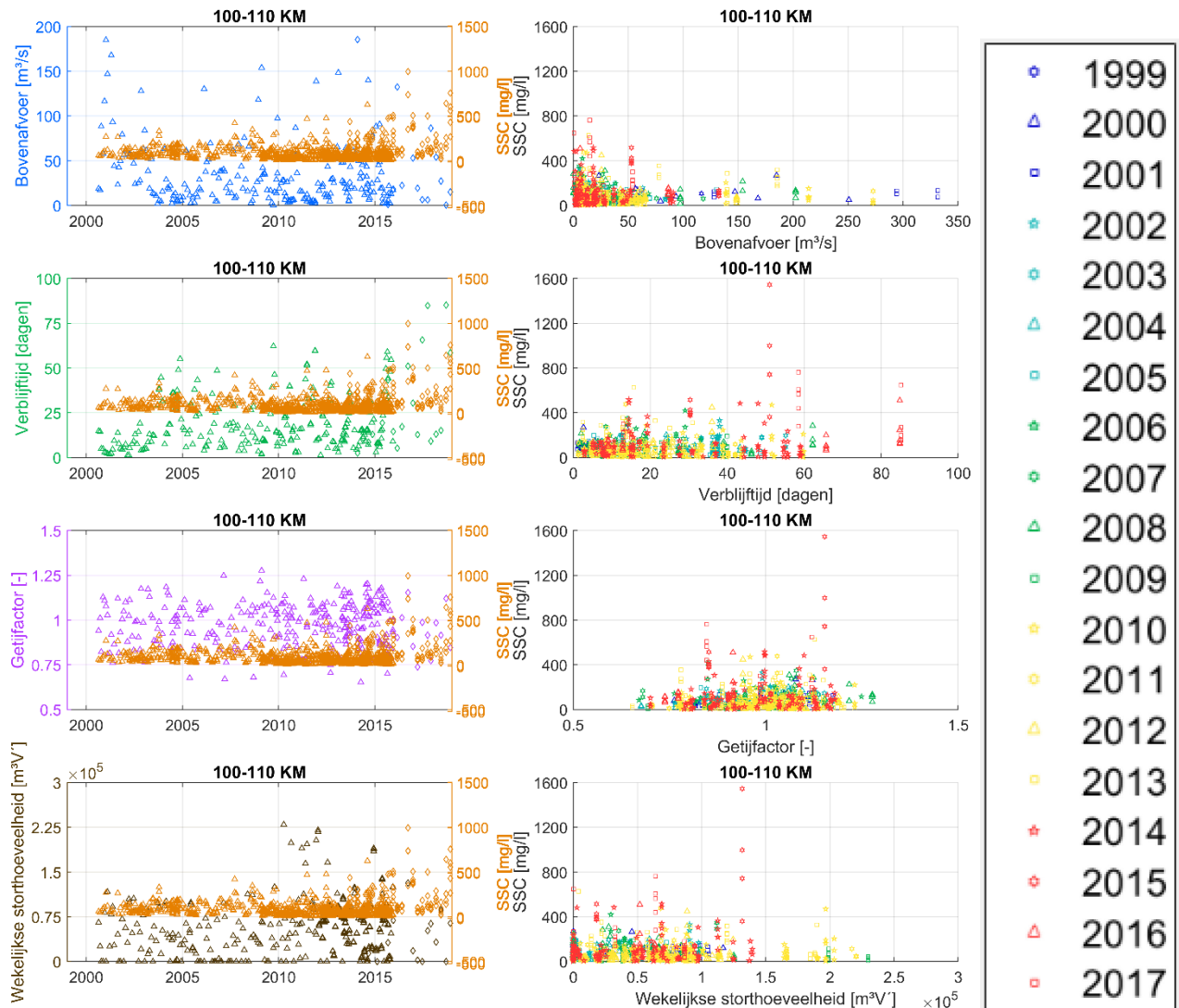
Figuur 19 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 80-90
bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



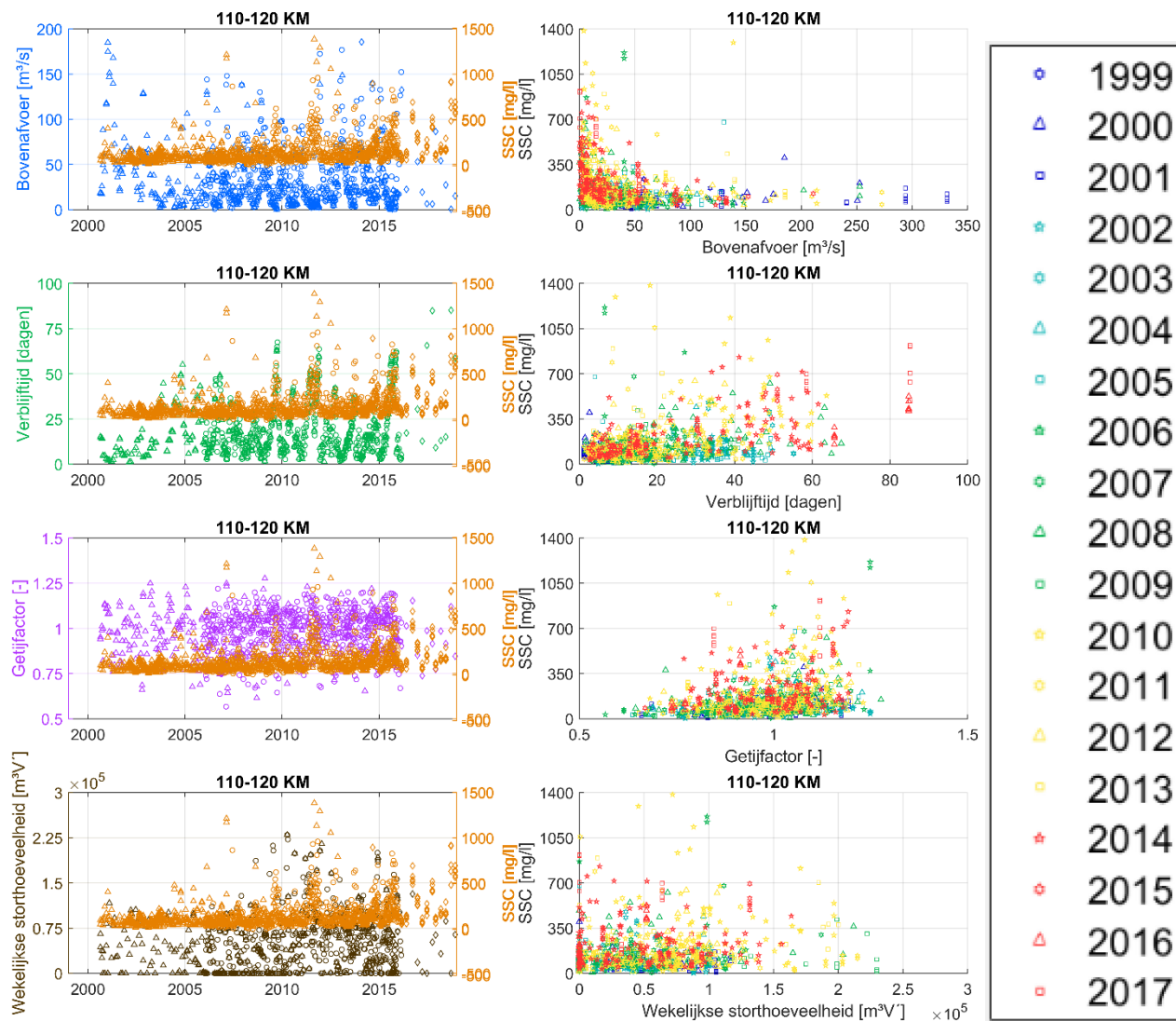
Figuur 20 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 90-100 bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



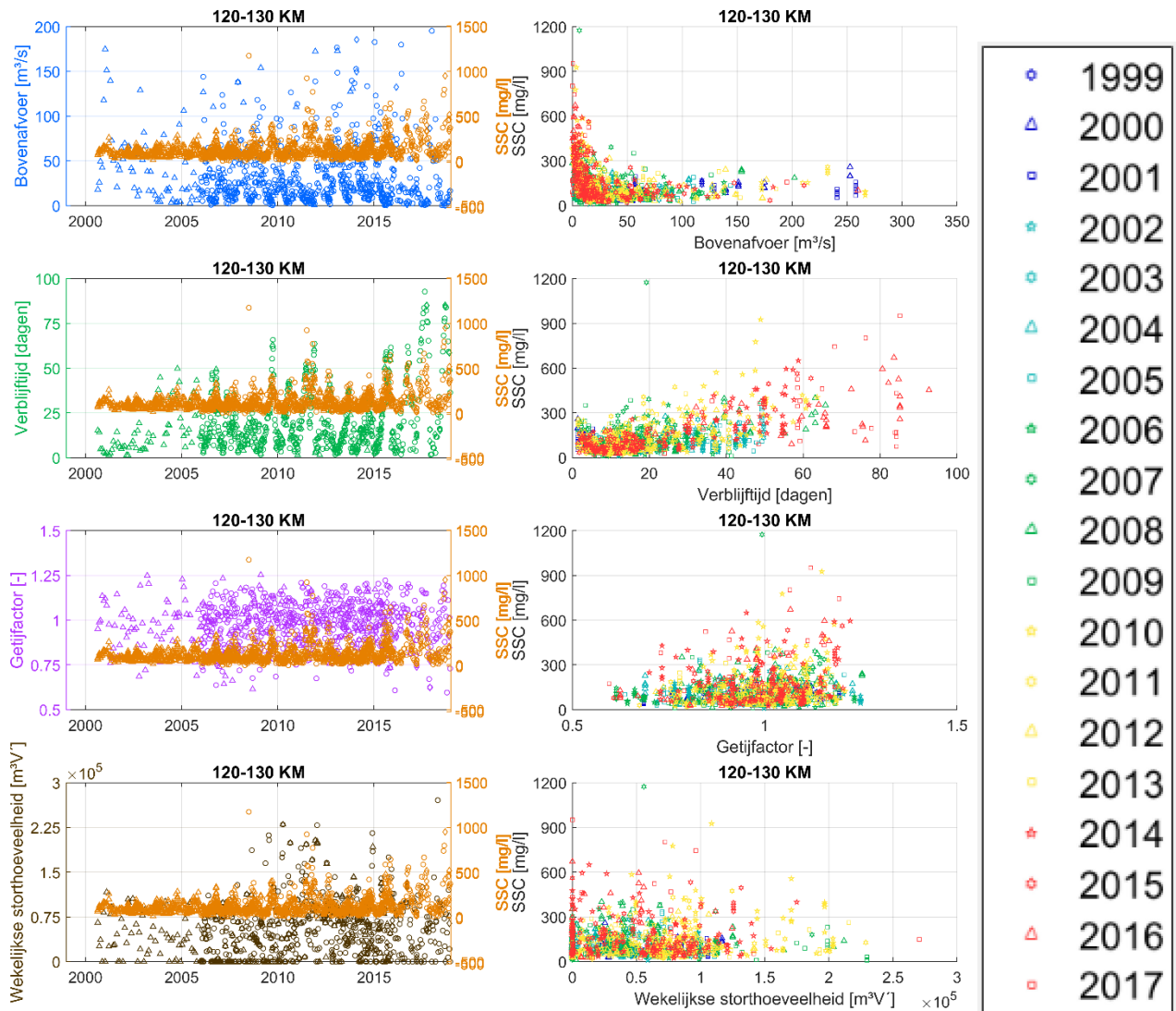
Figuur 21 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 100-110
bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



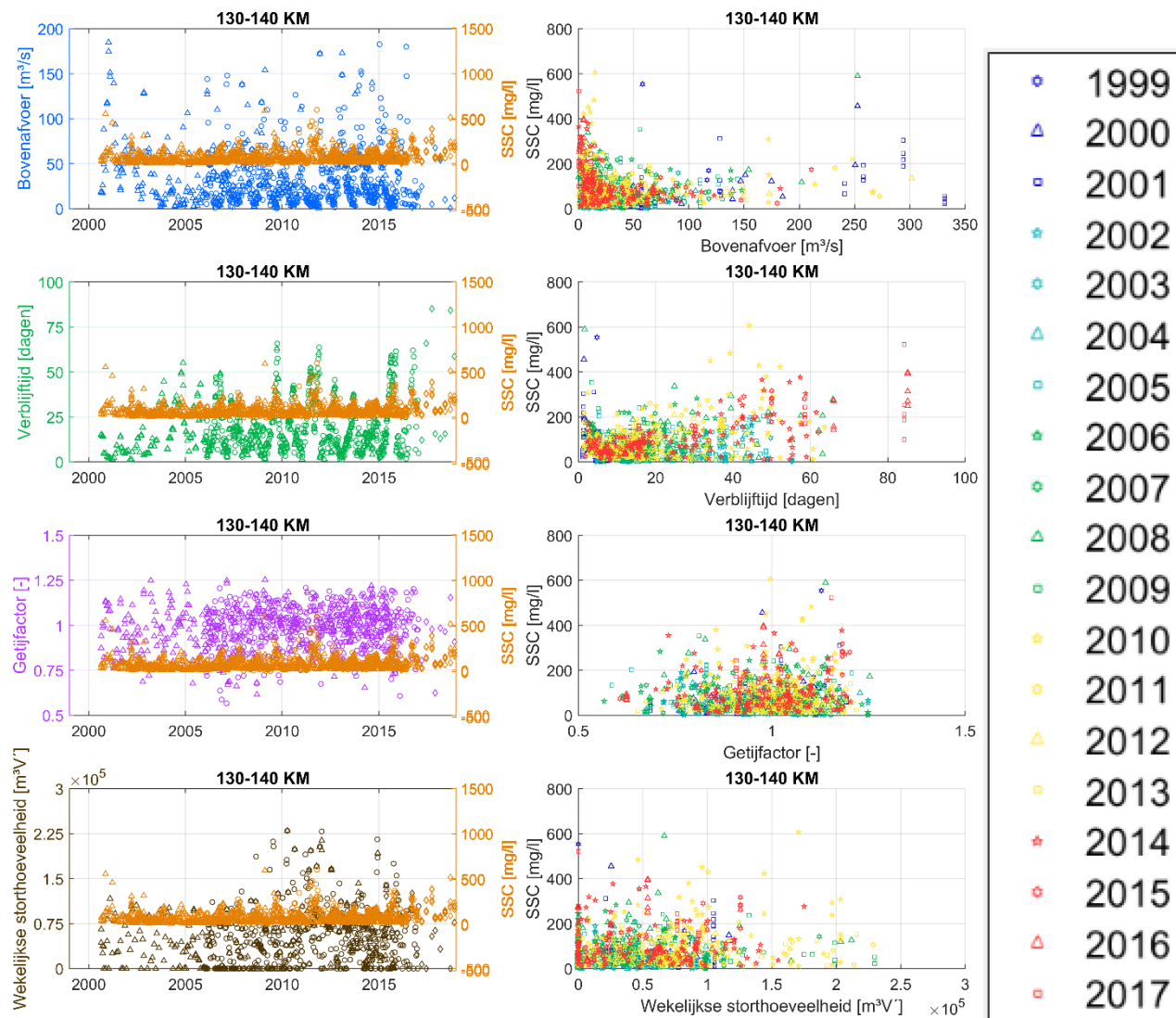
Figuur 22 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 110-120 bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



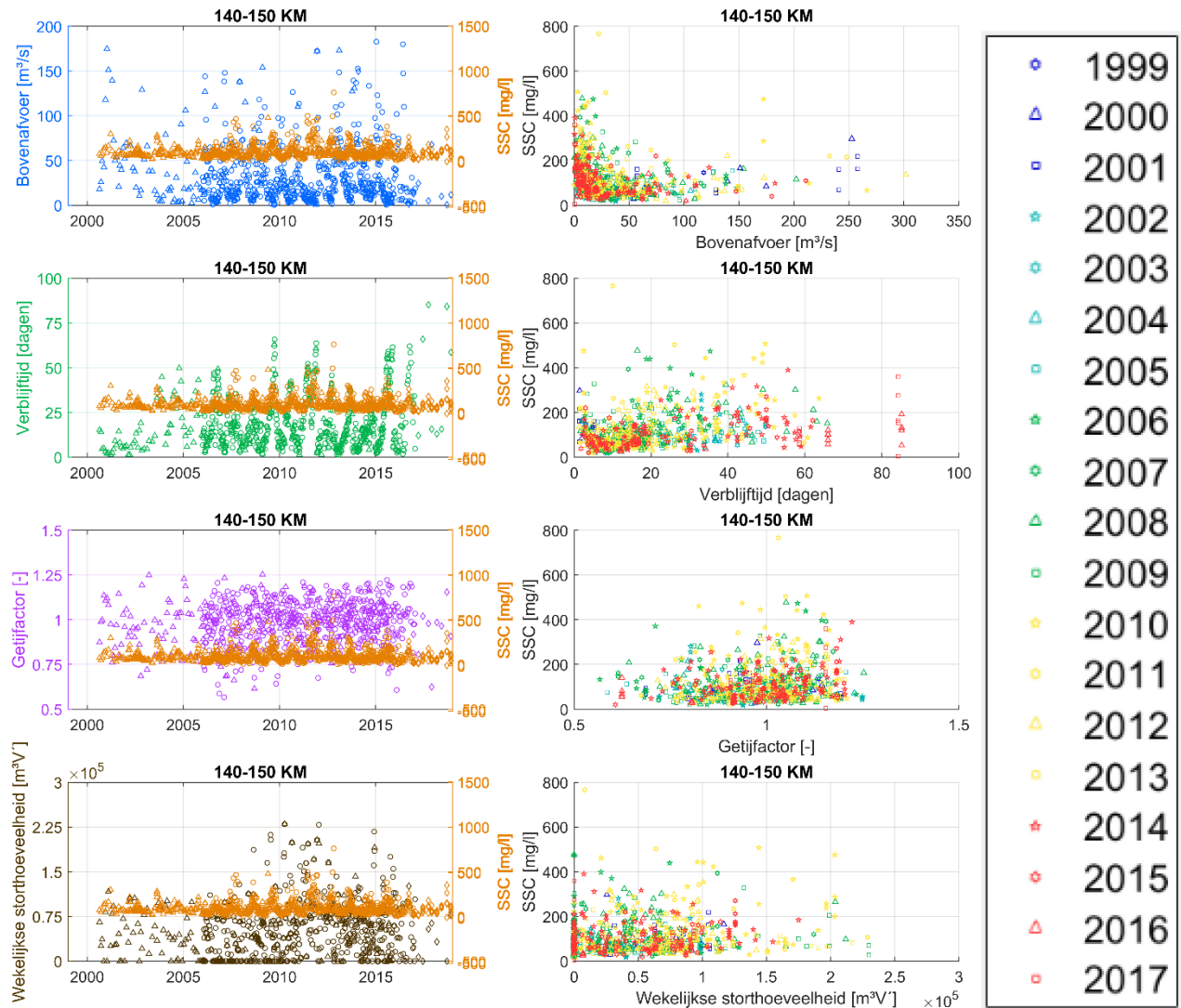
Figuur 23 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 120-130 bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



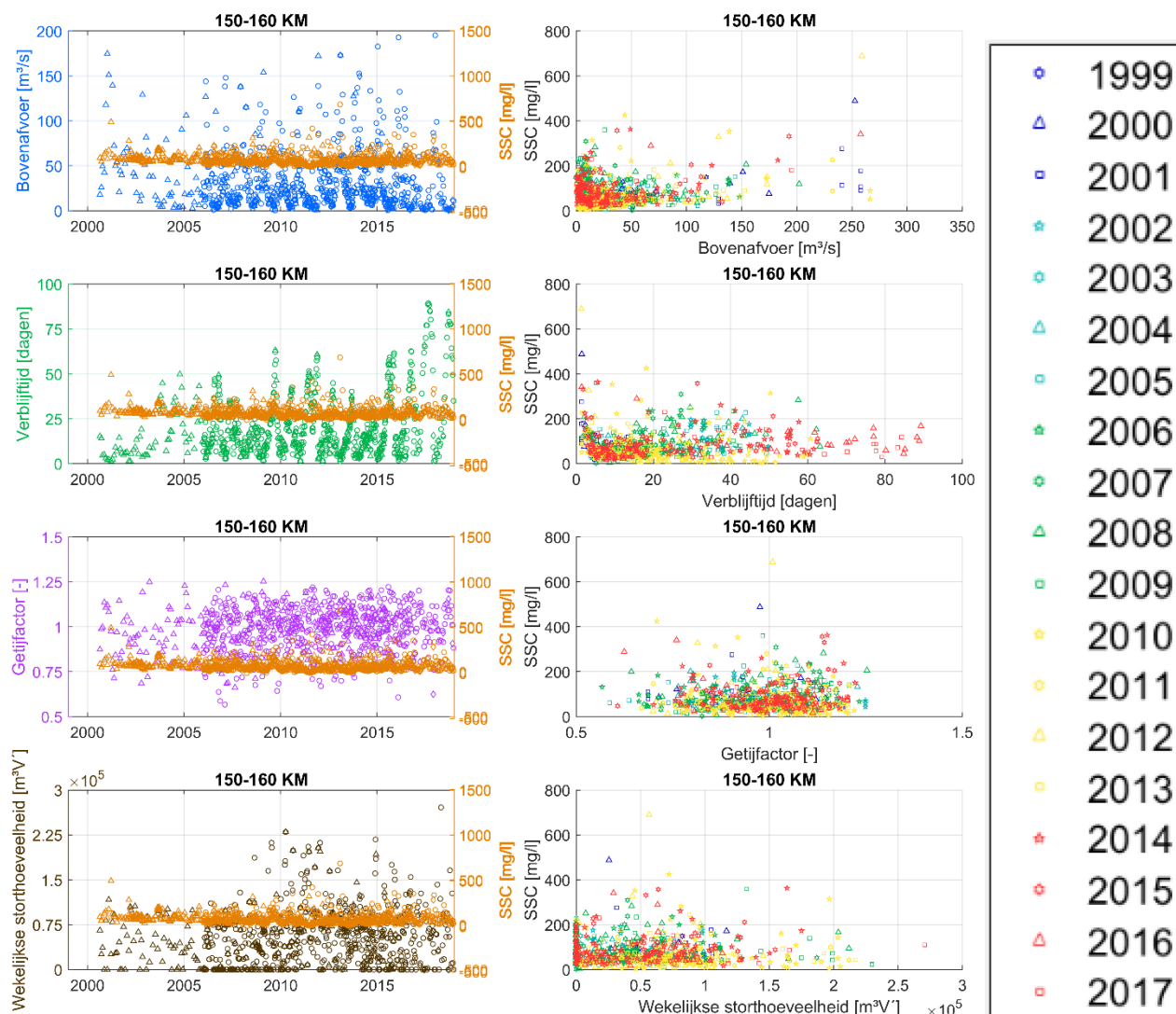
Figuur 24 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 130-140 bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)



Figuur 25 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 140-150 bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeveelheid (onder)

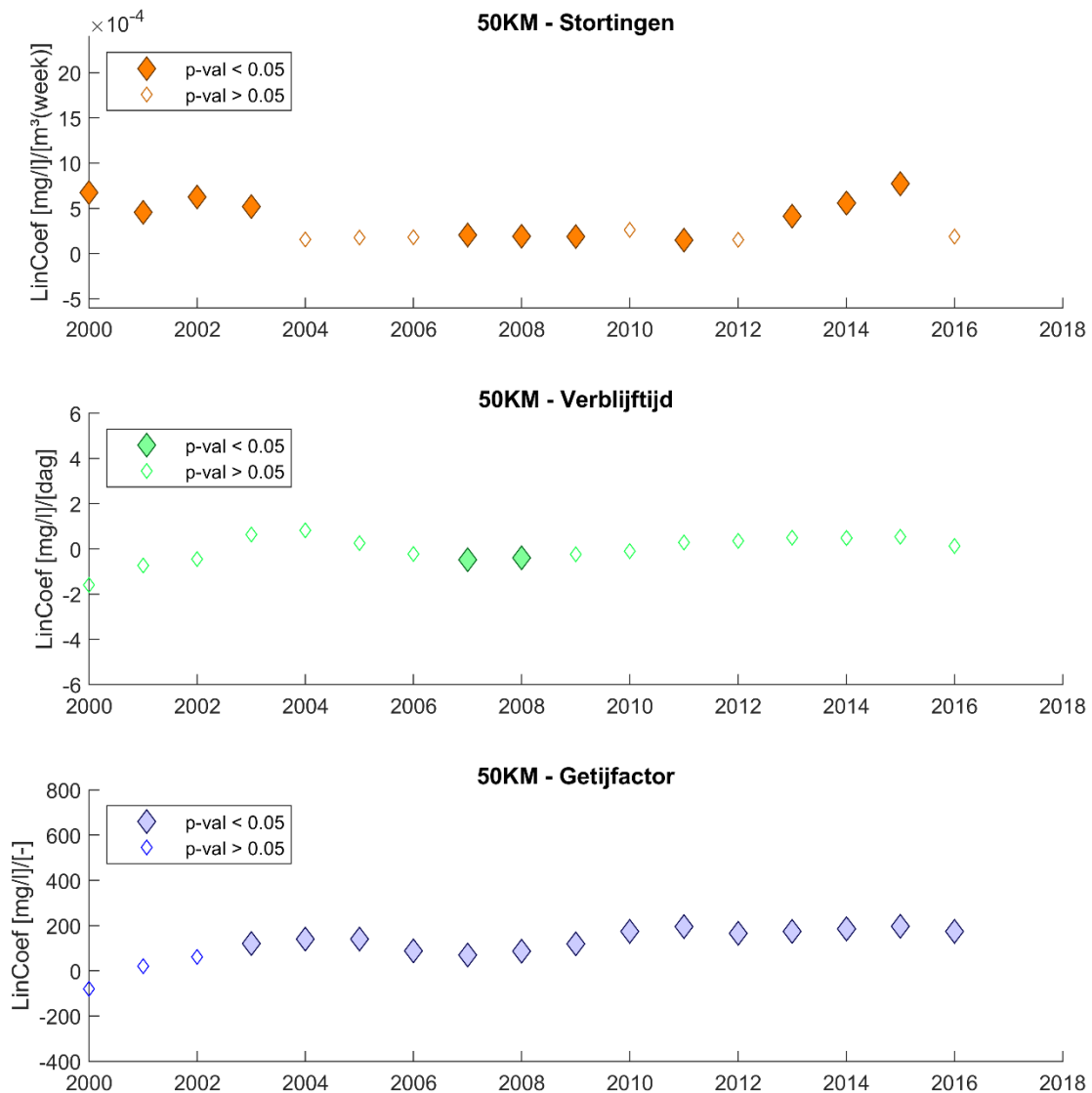


Figuur 26 – Verloop in de tijd (links) en scatterplot parameter – SSC (rechts) voor zone KM 150-160 bovenafvoer (top), verblijftijd (mid-top), getijfactor (mid – onder) en wekelijkse storthoeverheid (onder) ;

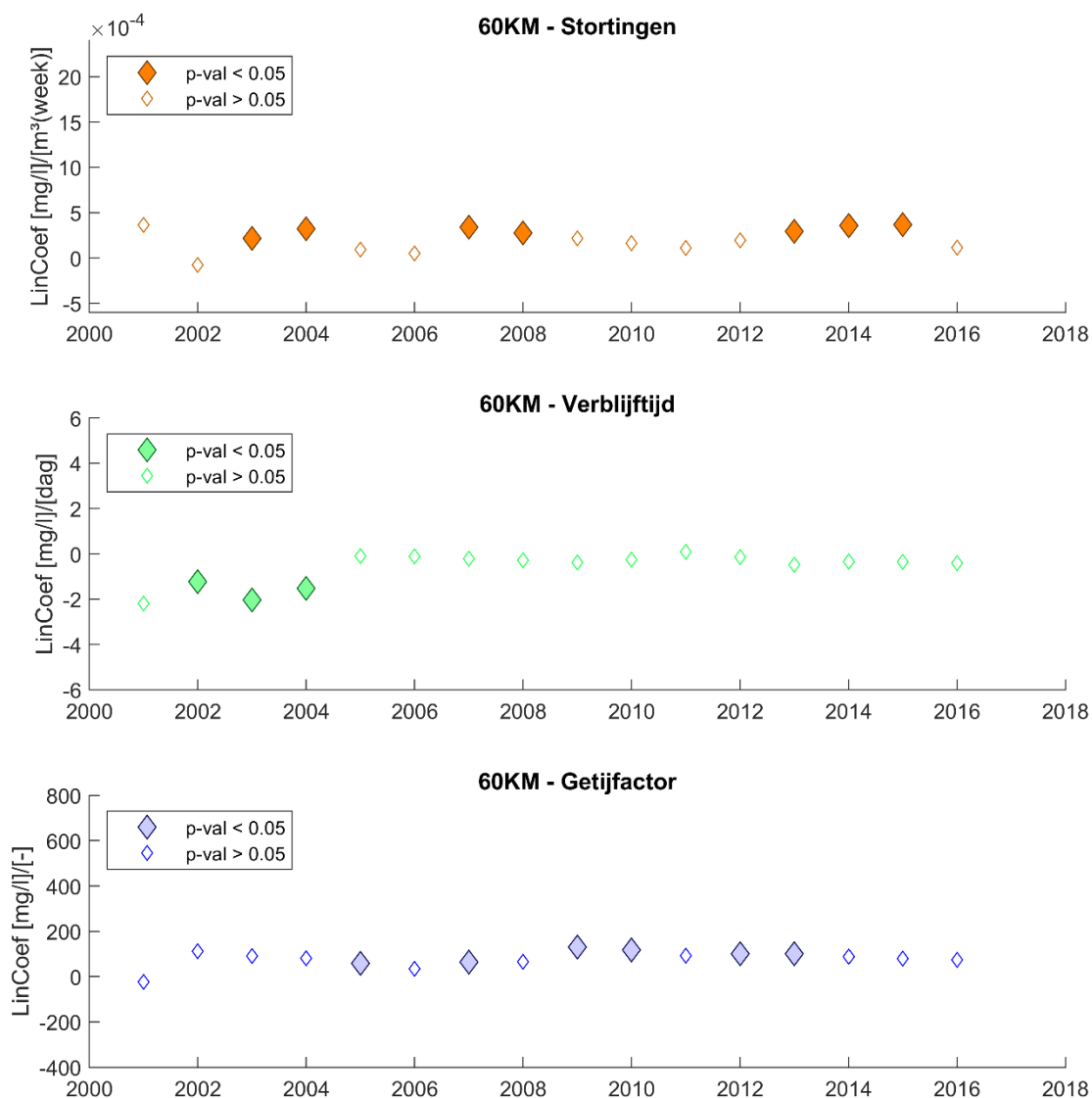


Bijlage B – temporele variatie

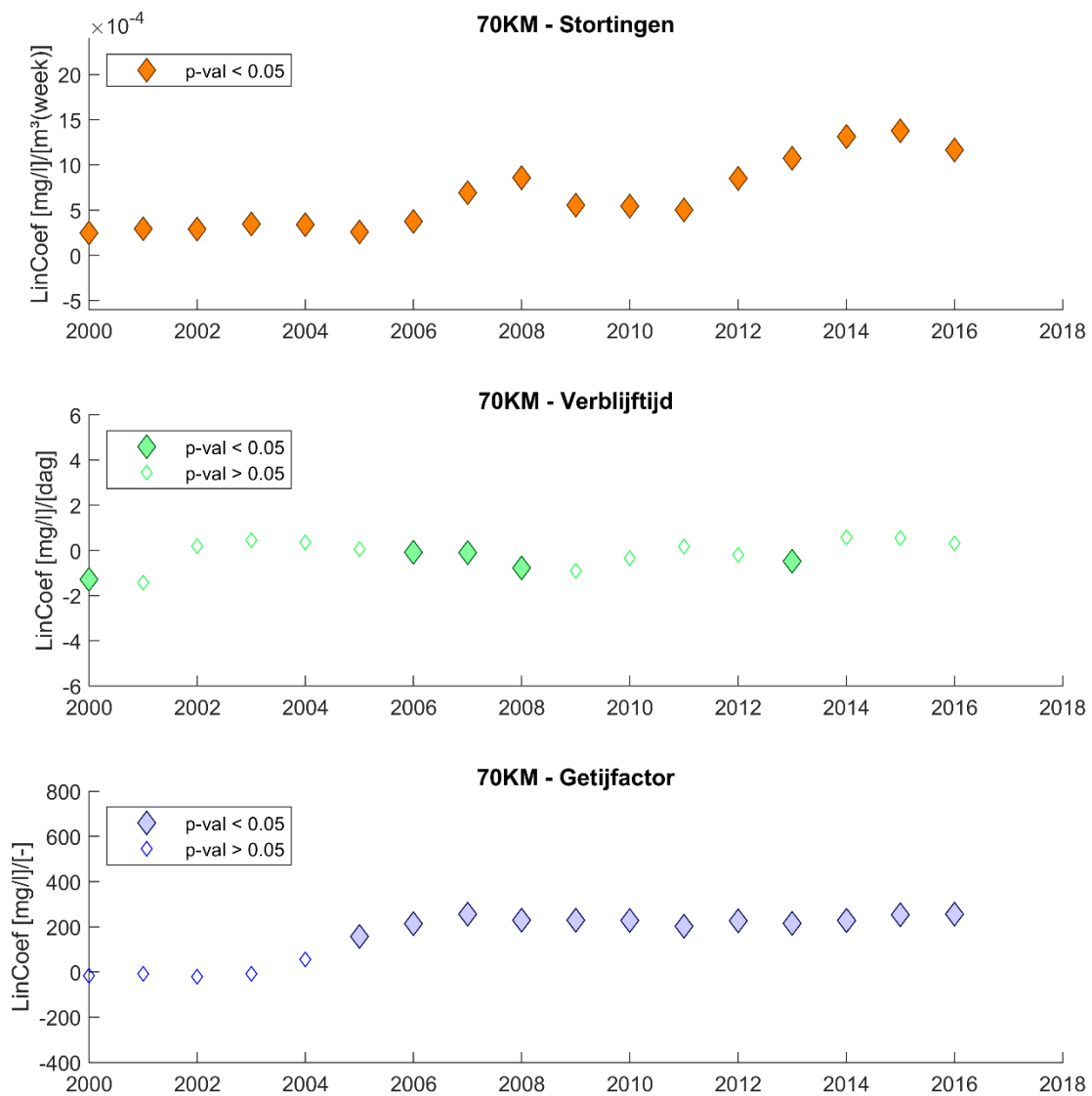
Figuur 27 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 50-60)



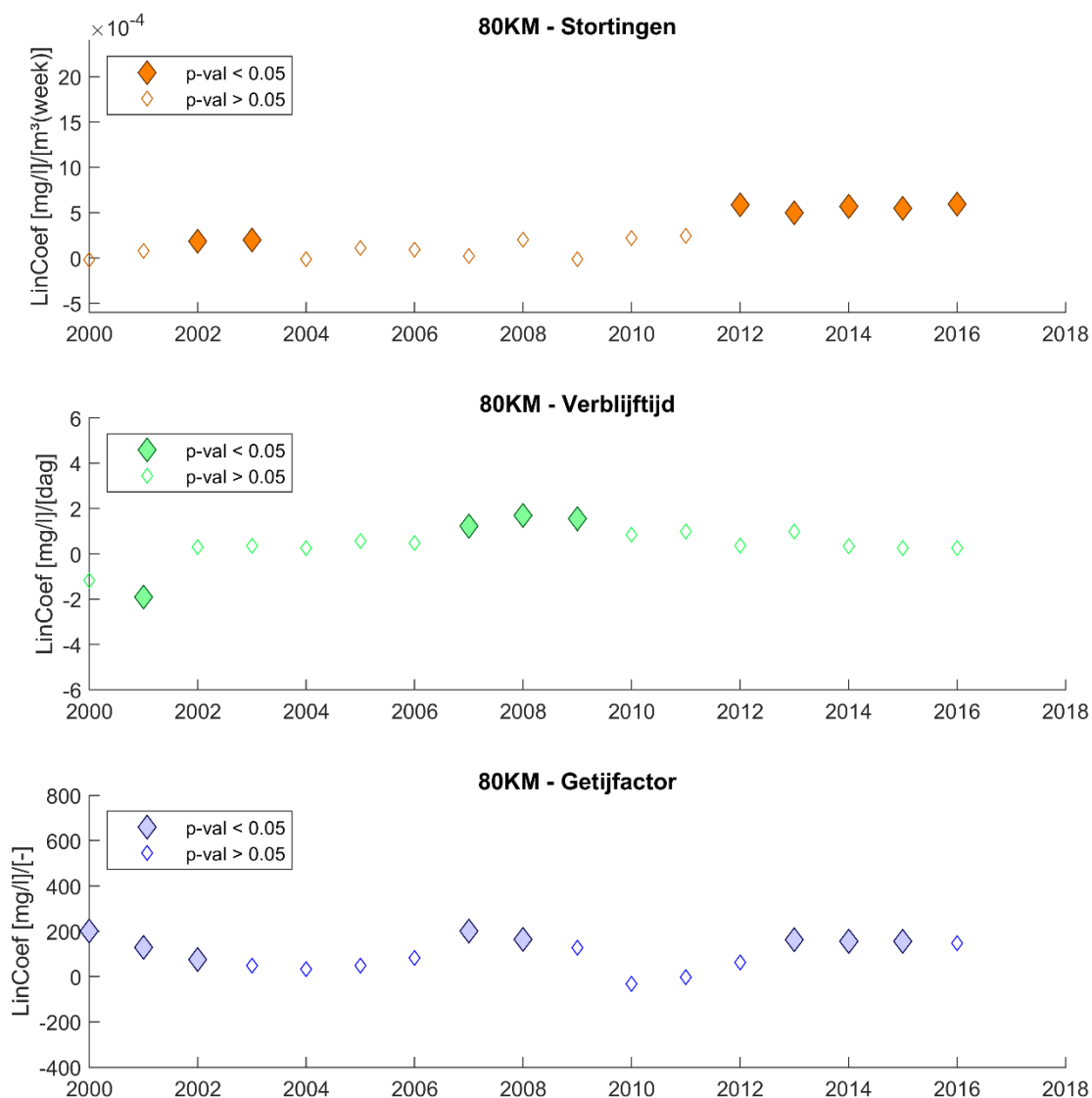
Figuur 28 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 60-70)



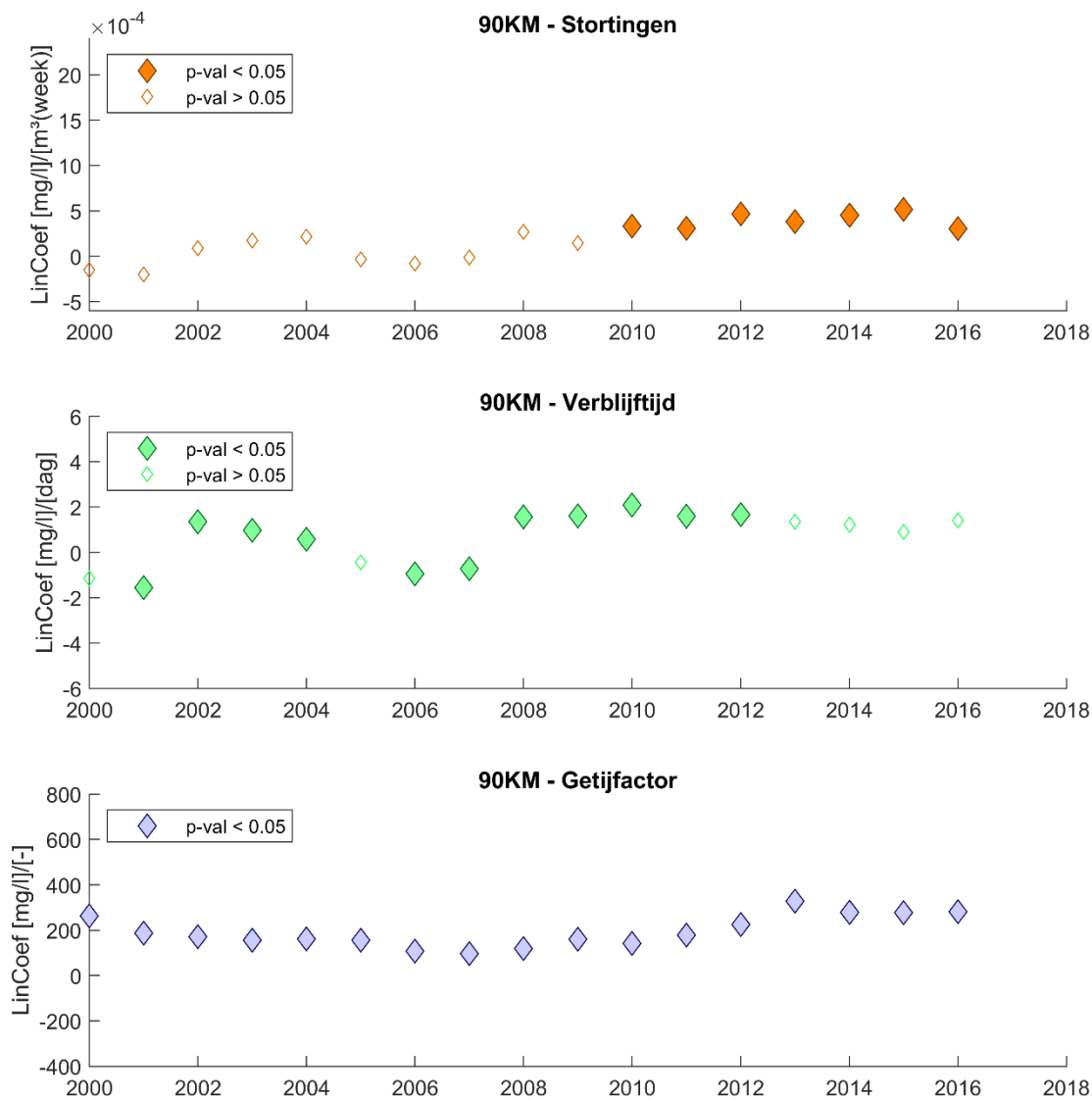
Figuur 29 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 70-80)



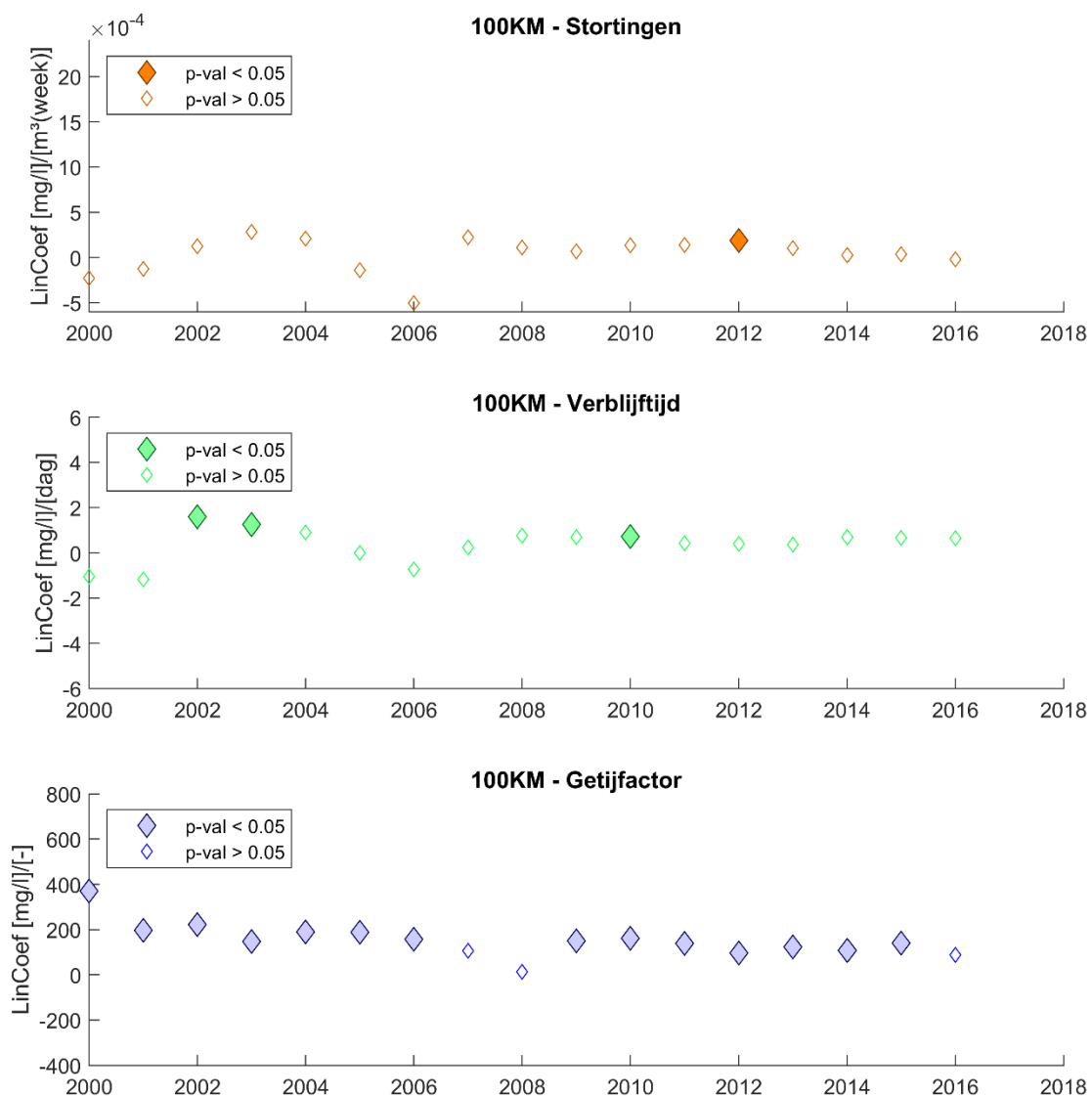
Figuur 30 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 80-90)



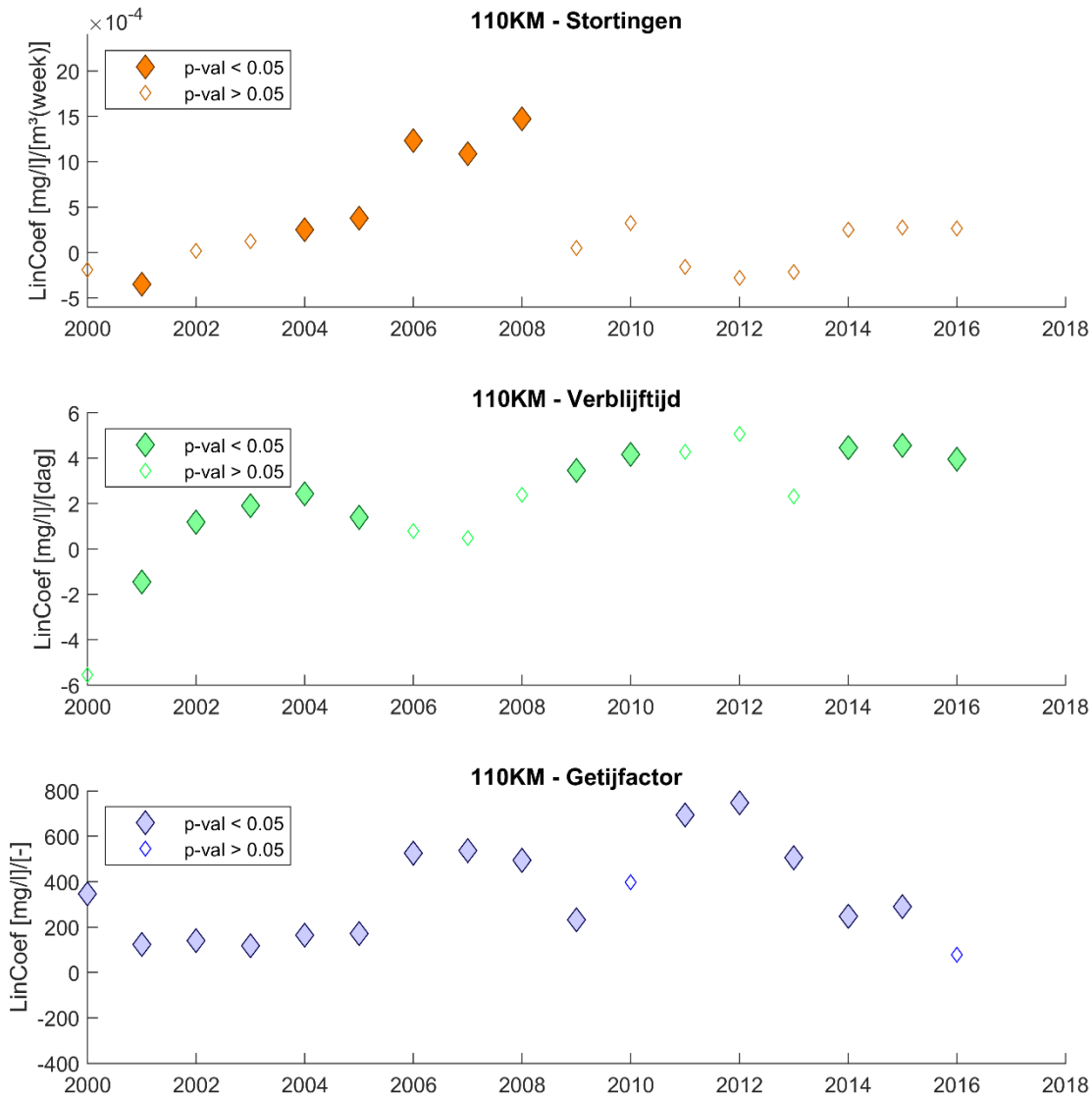
Figuur 31 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 90-100)



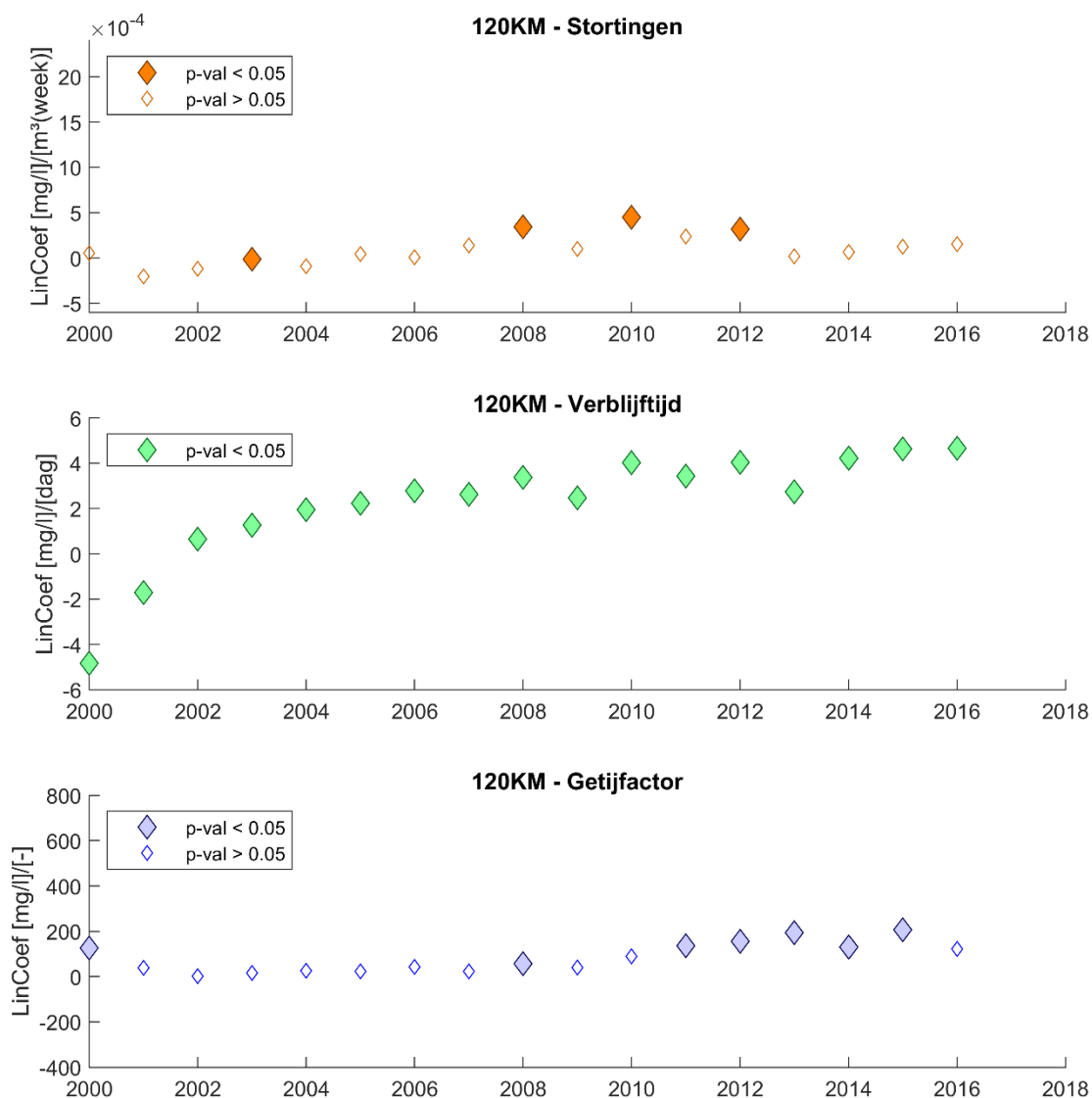
Figuur 32 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 100-110)



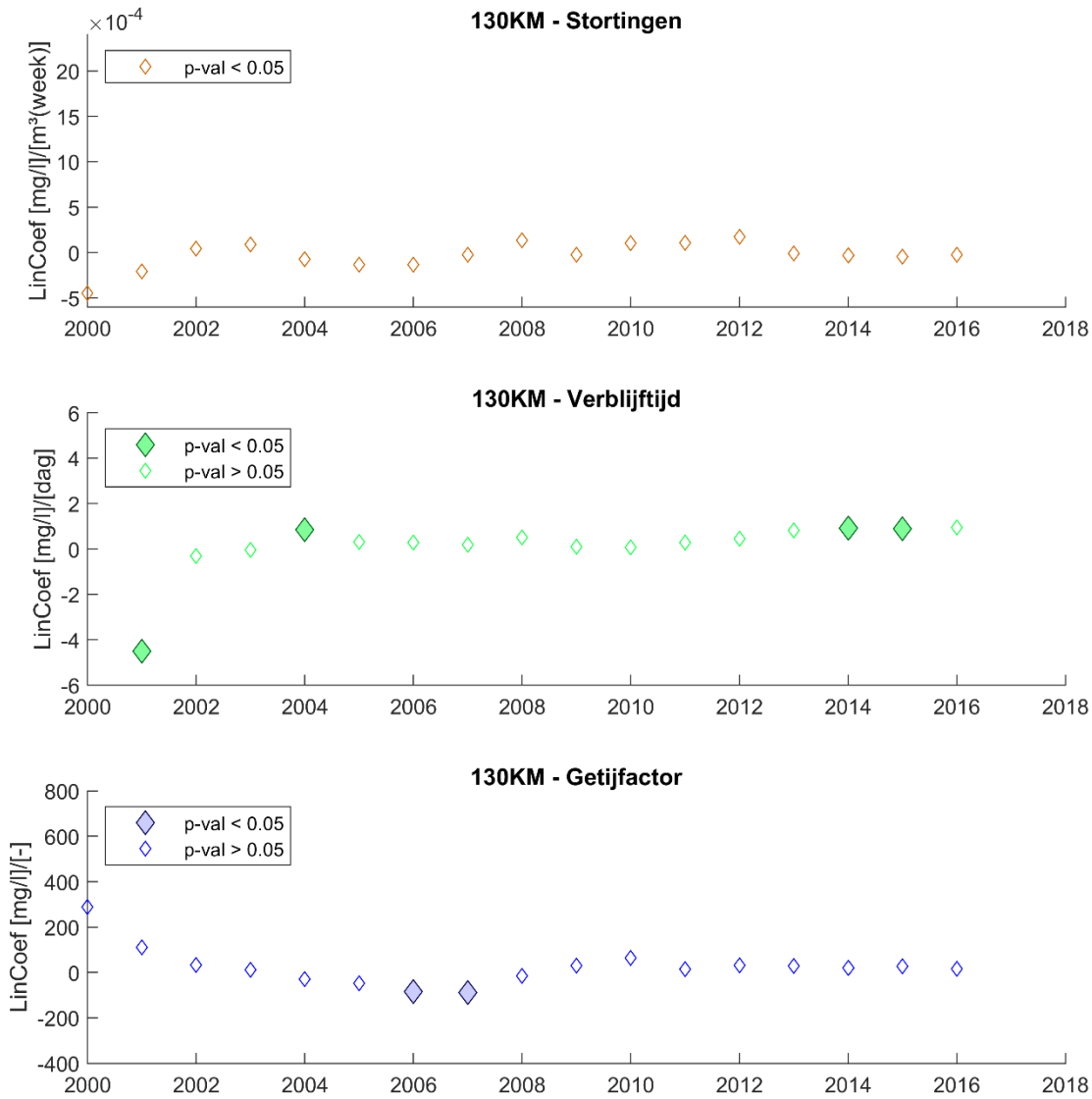
Figuur 33 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 110-120)



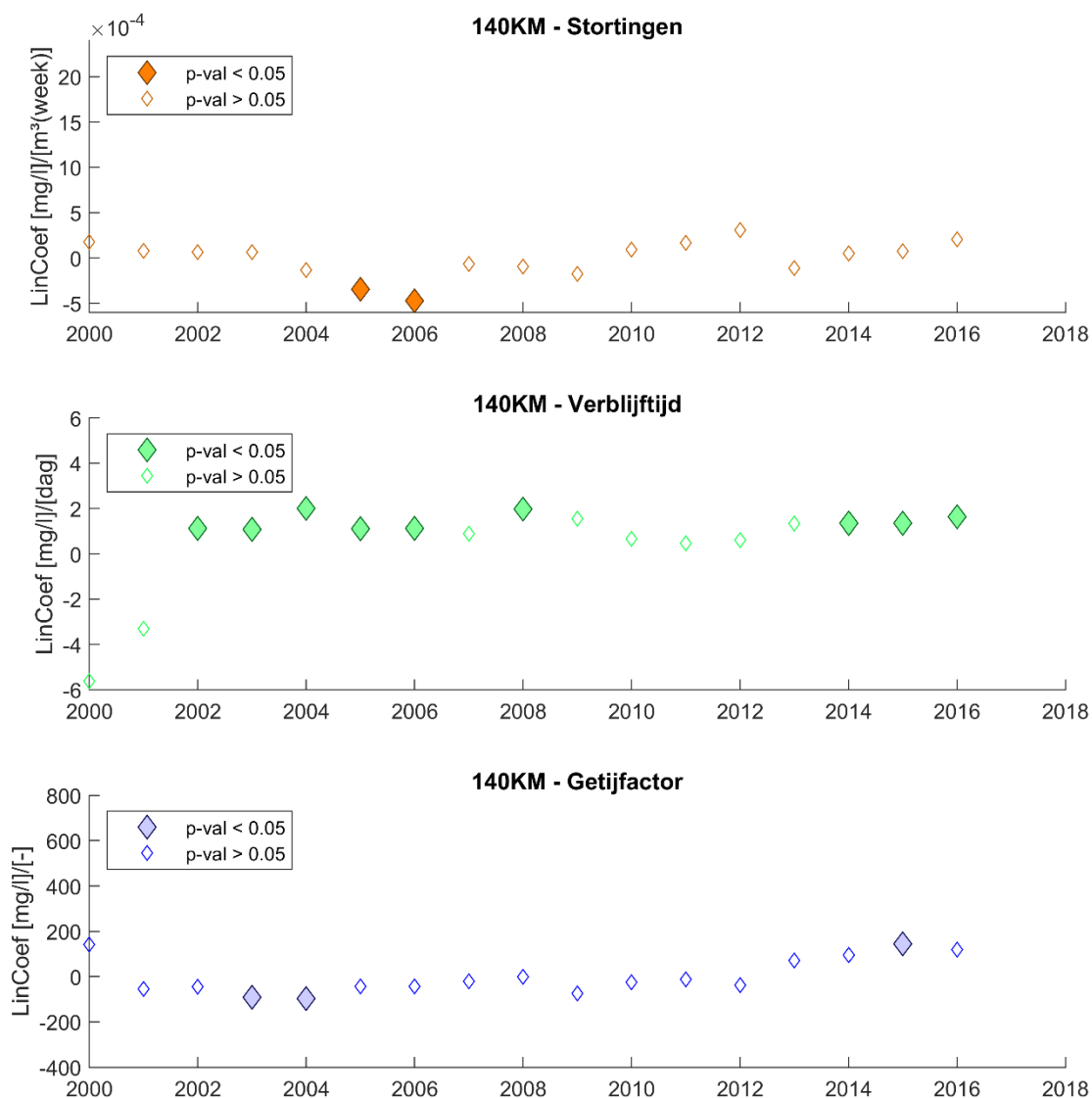
Figuur 34 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 120-130)



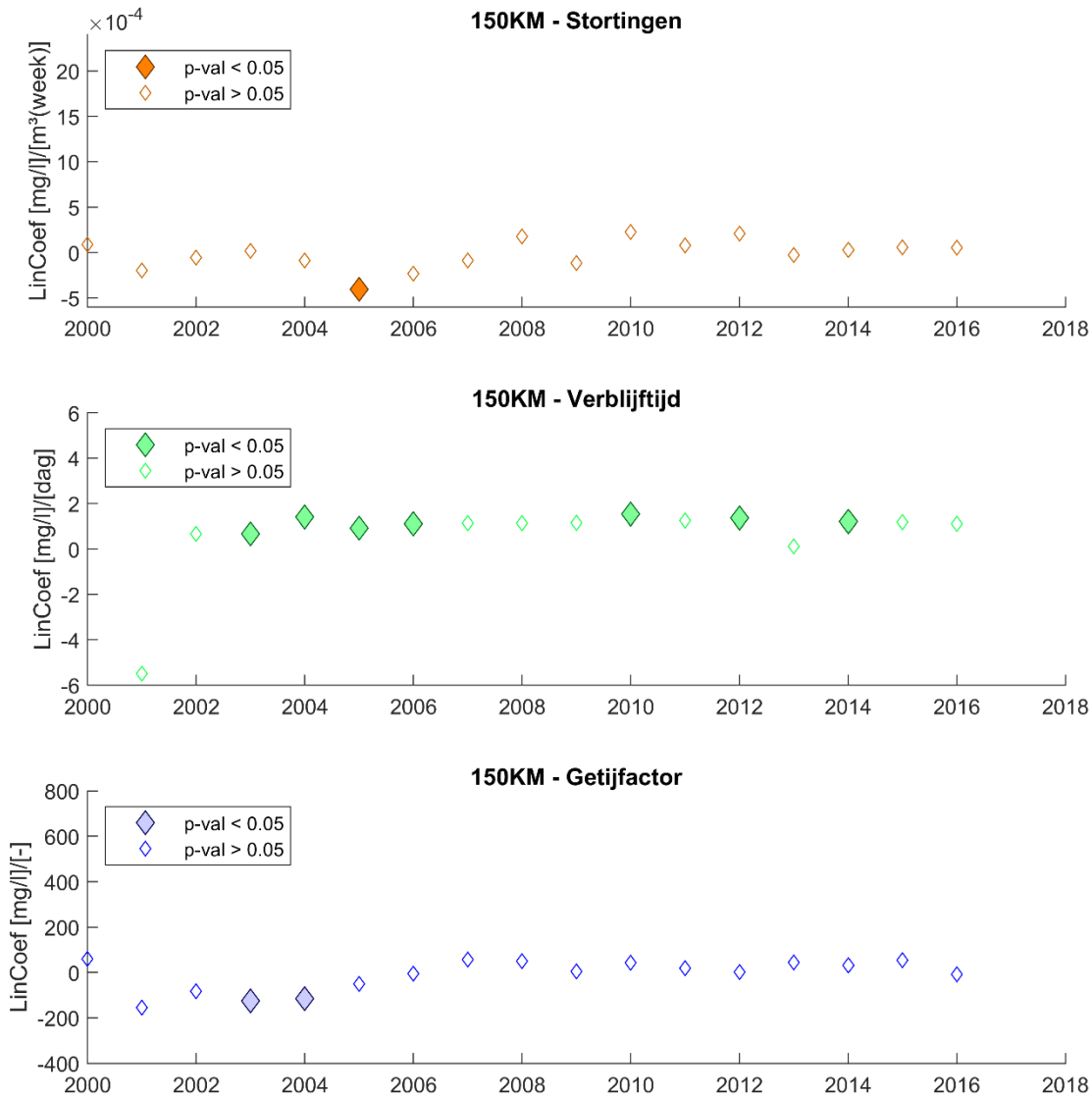
Figuur 35 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 130-140)



Figuur 36 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 140-150)

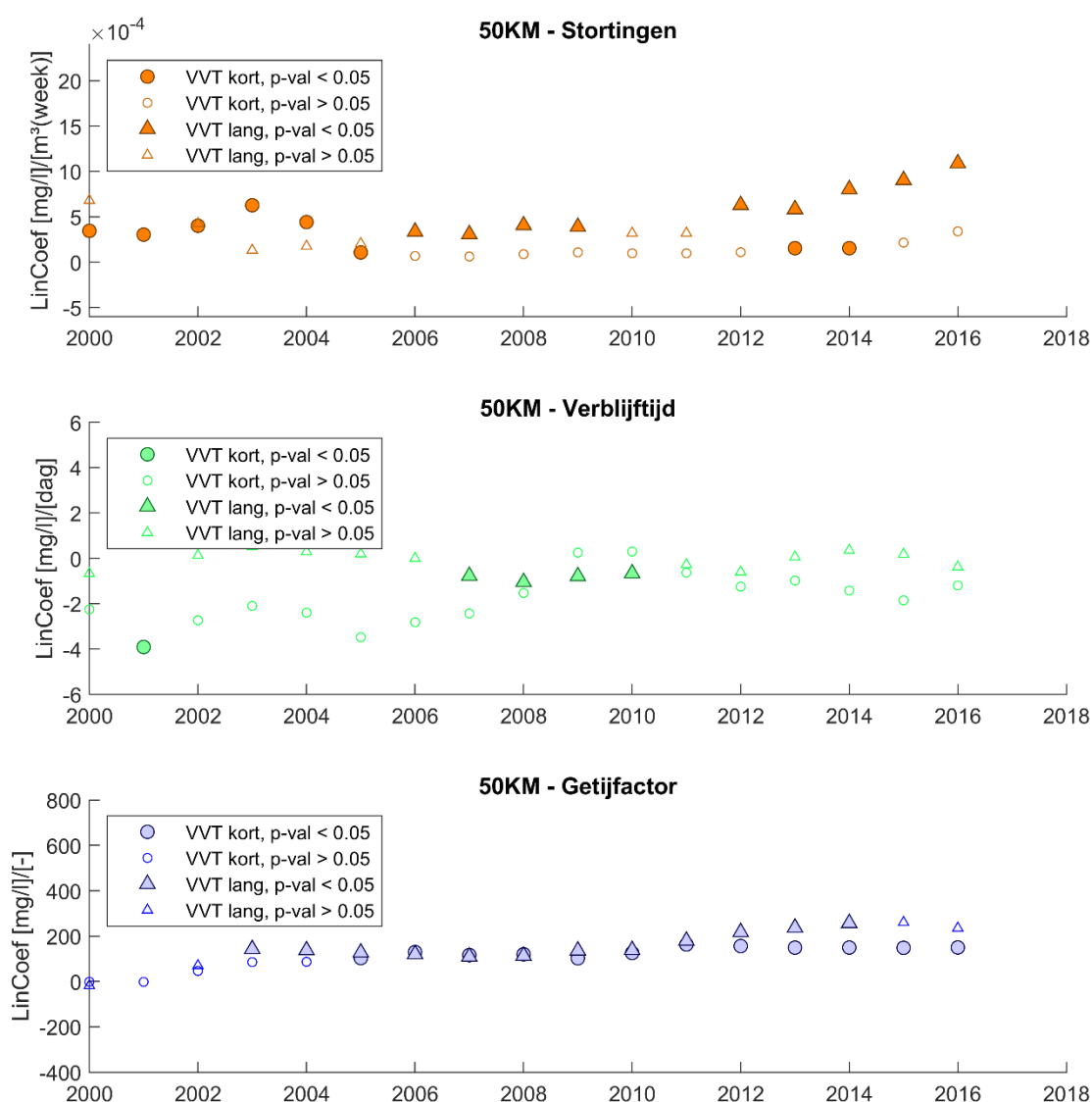


Figuur 37 – Verloop in de tijd (subset van 3 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 150-160)

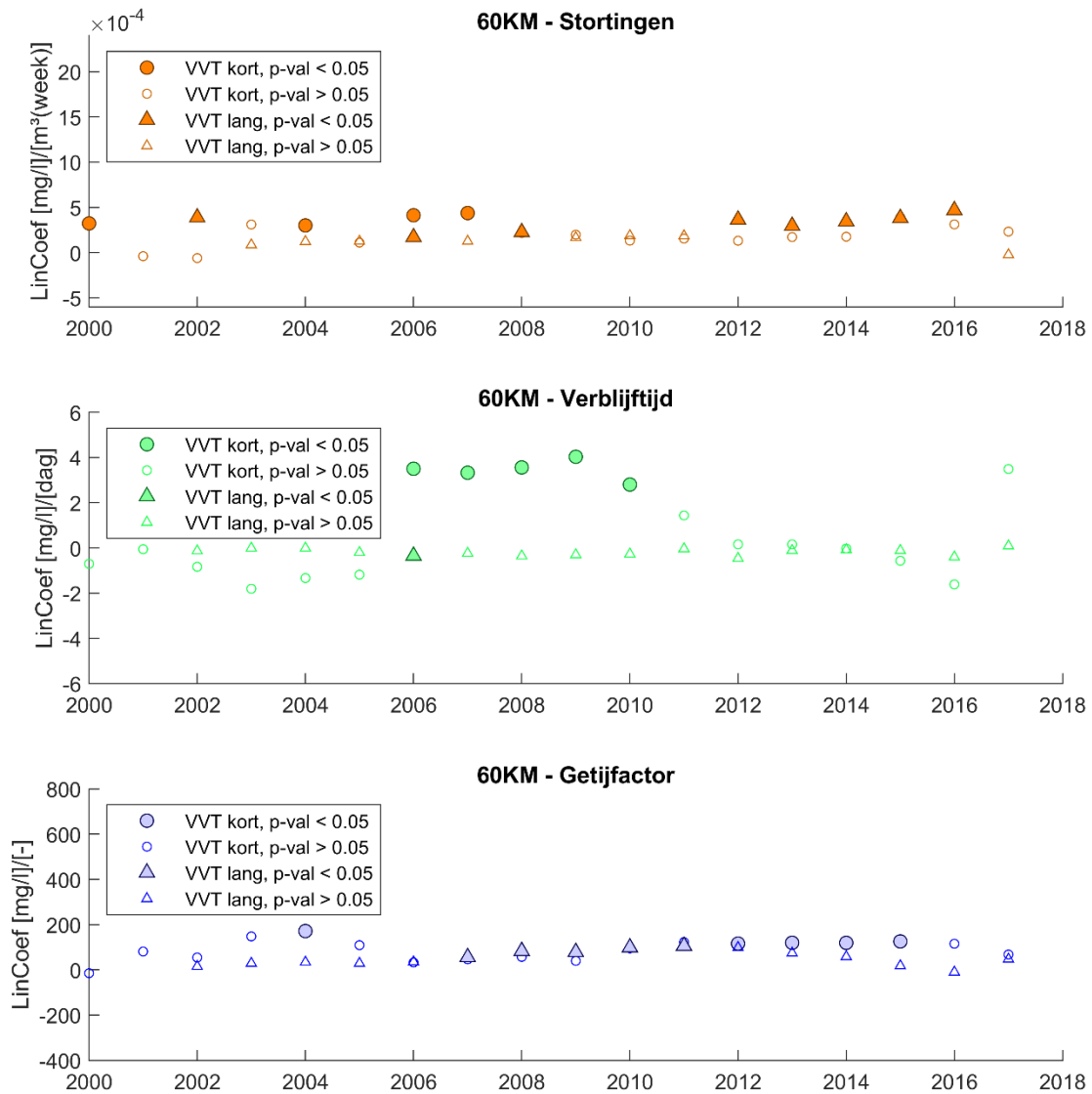


Bijlage C – temporele variatie en invloed verblijftijd

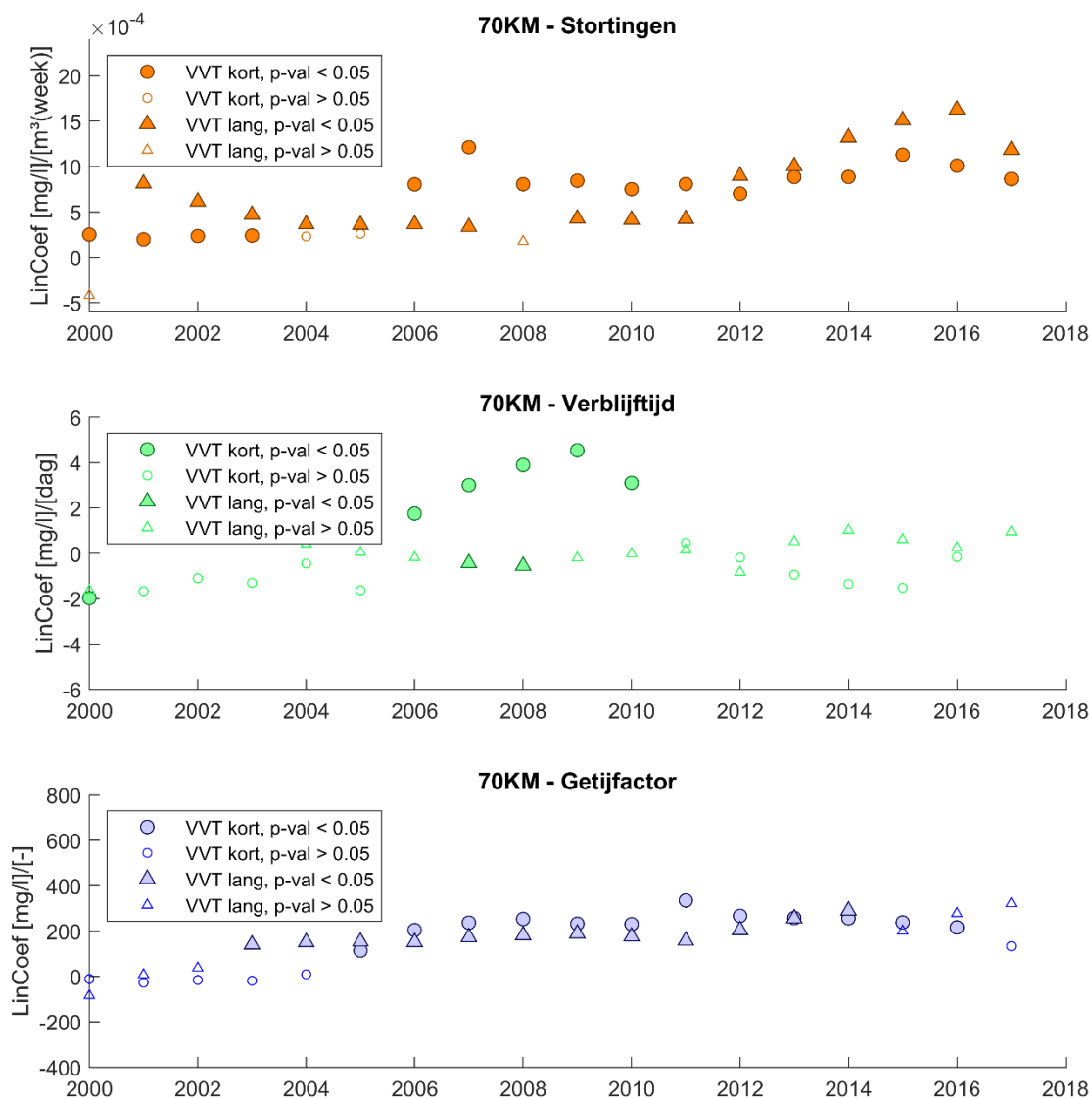
Figuur 38 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 50-60)



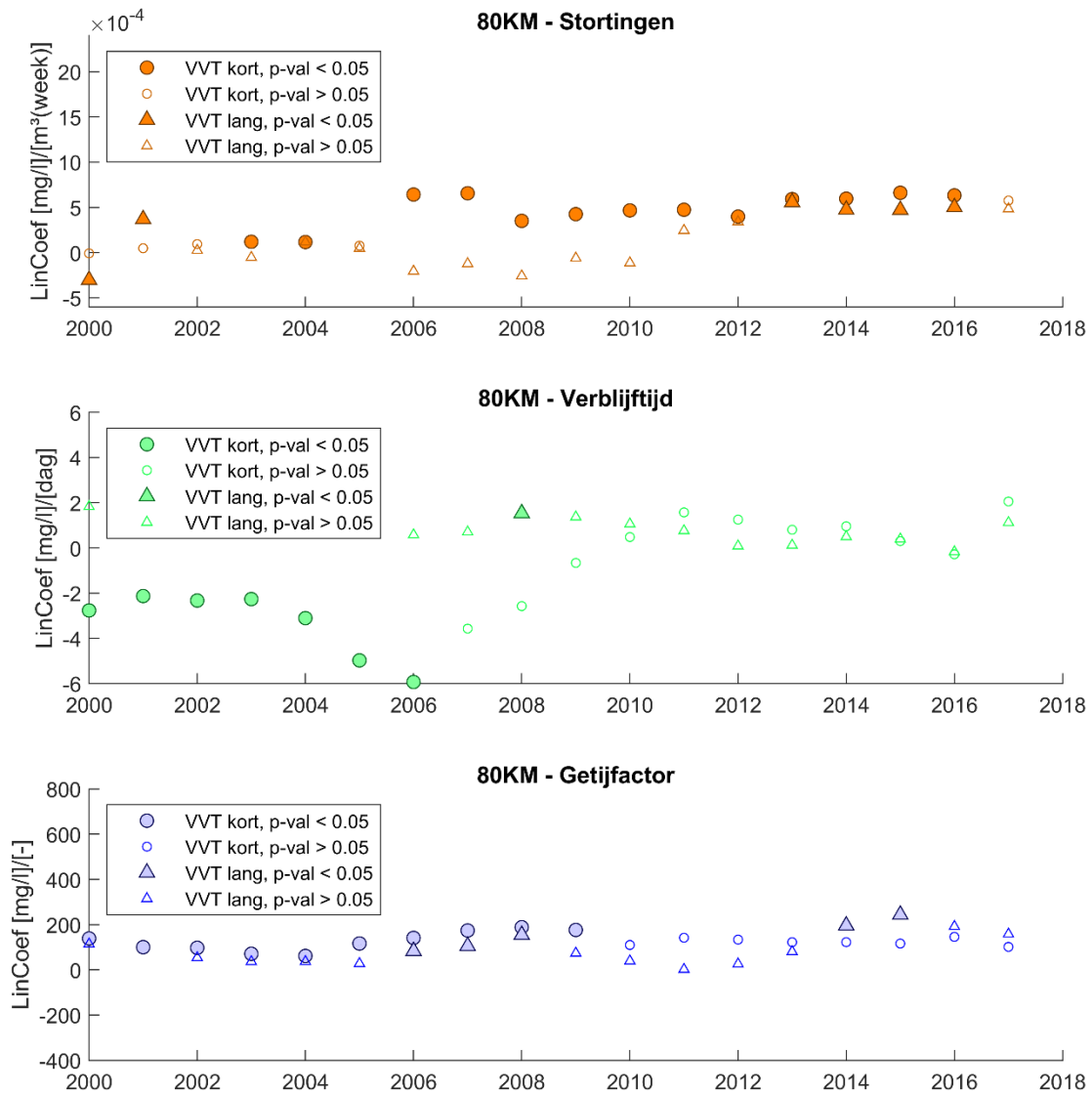
Figuur 39 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 60-70)



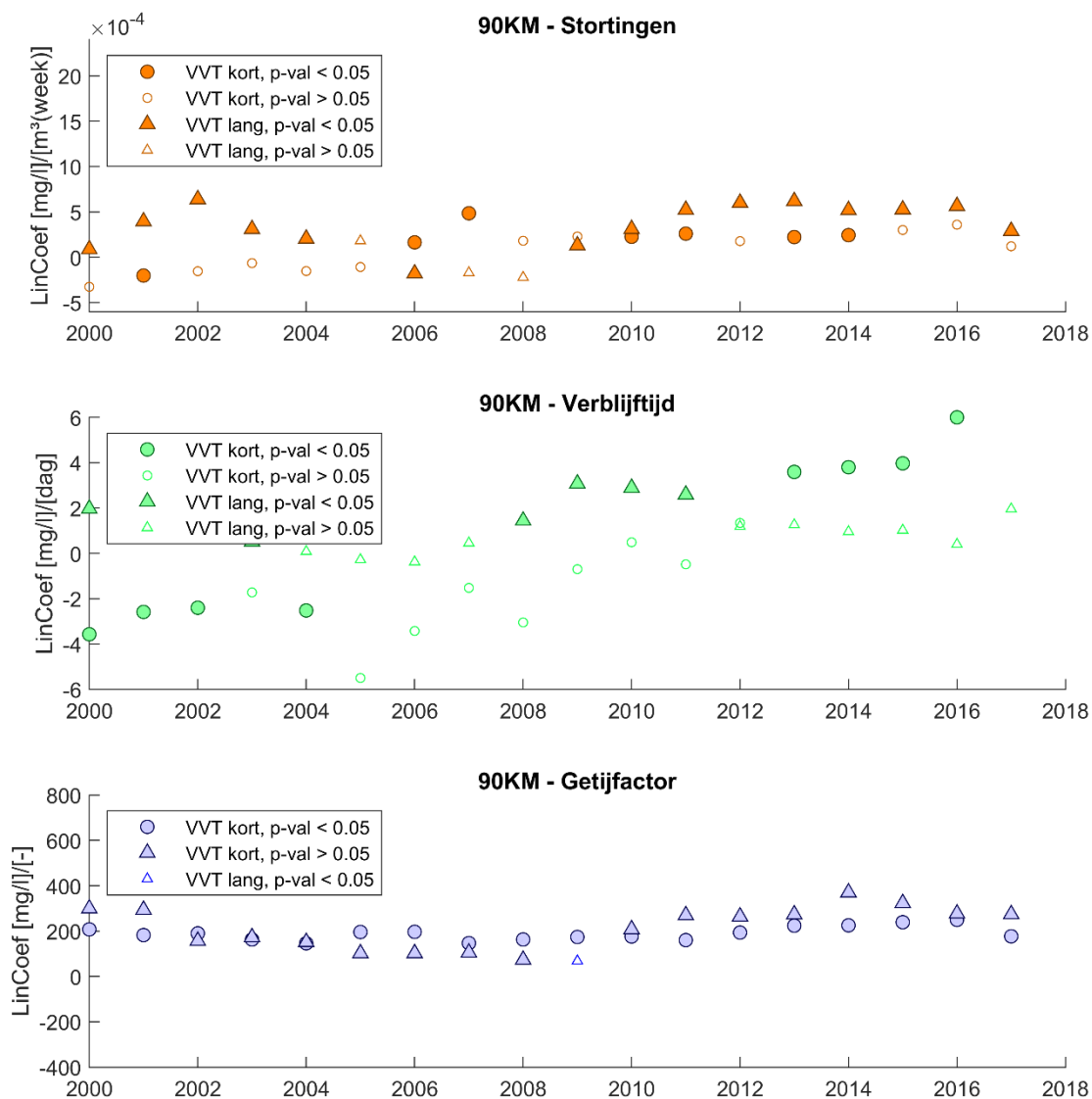
Figuur 40 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 70-80)



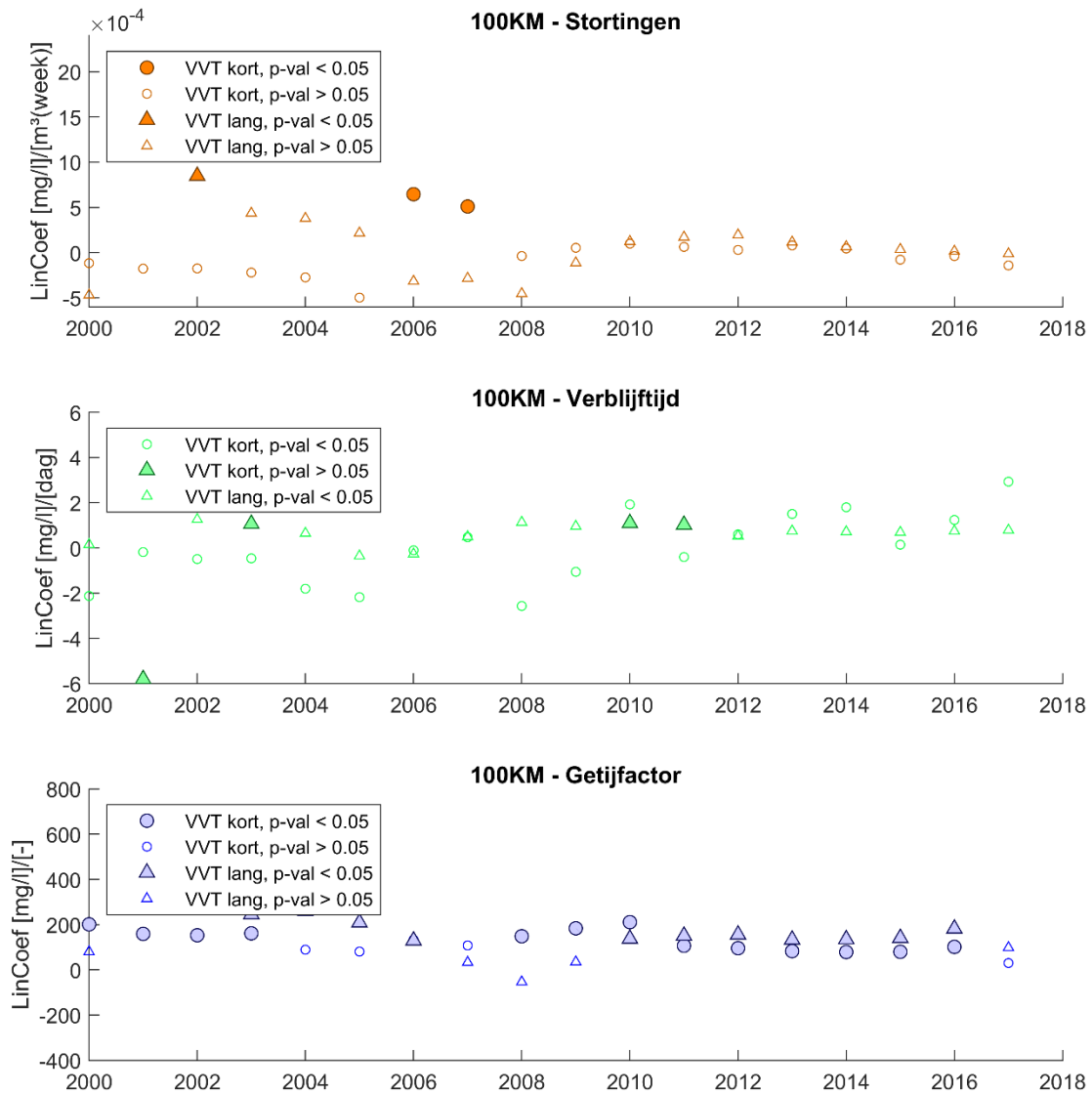
Figuur 41 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 80-90)



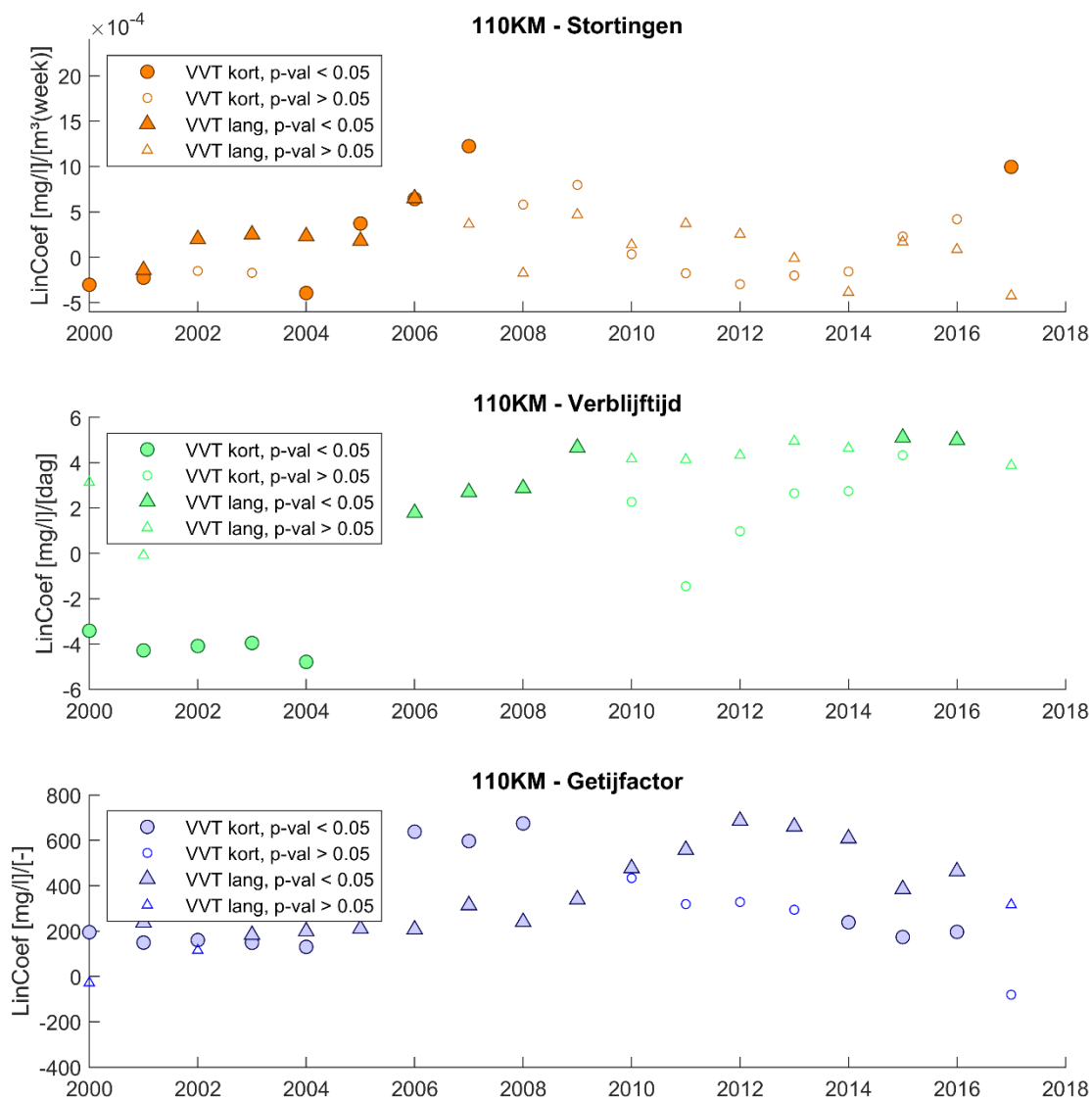
Figuur 42 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 90-100)



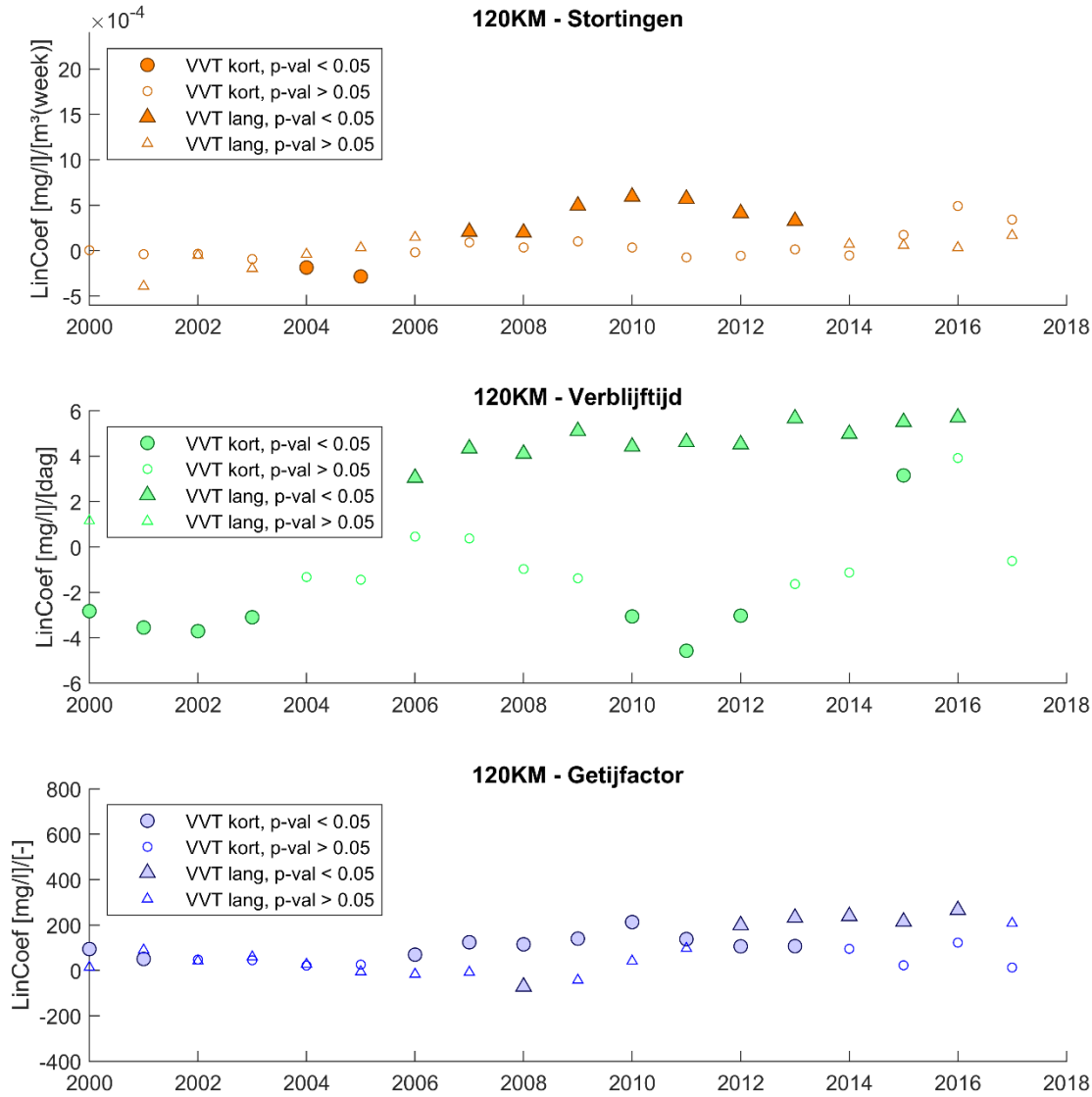
Figuur 43 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 100-110)



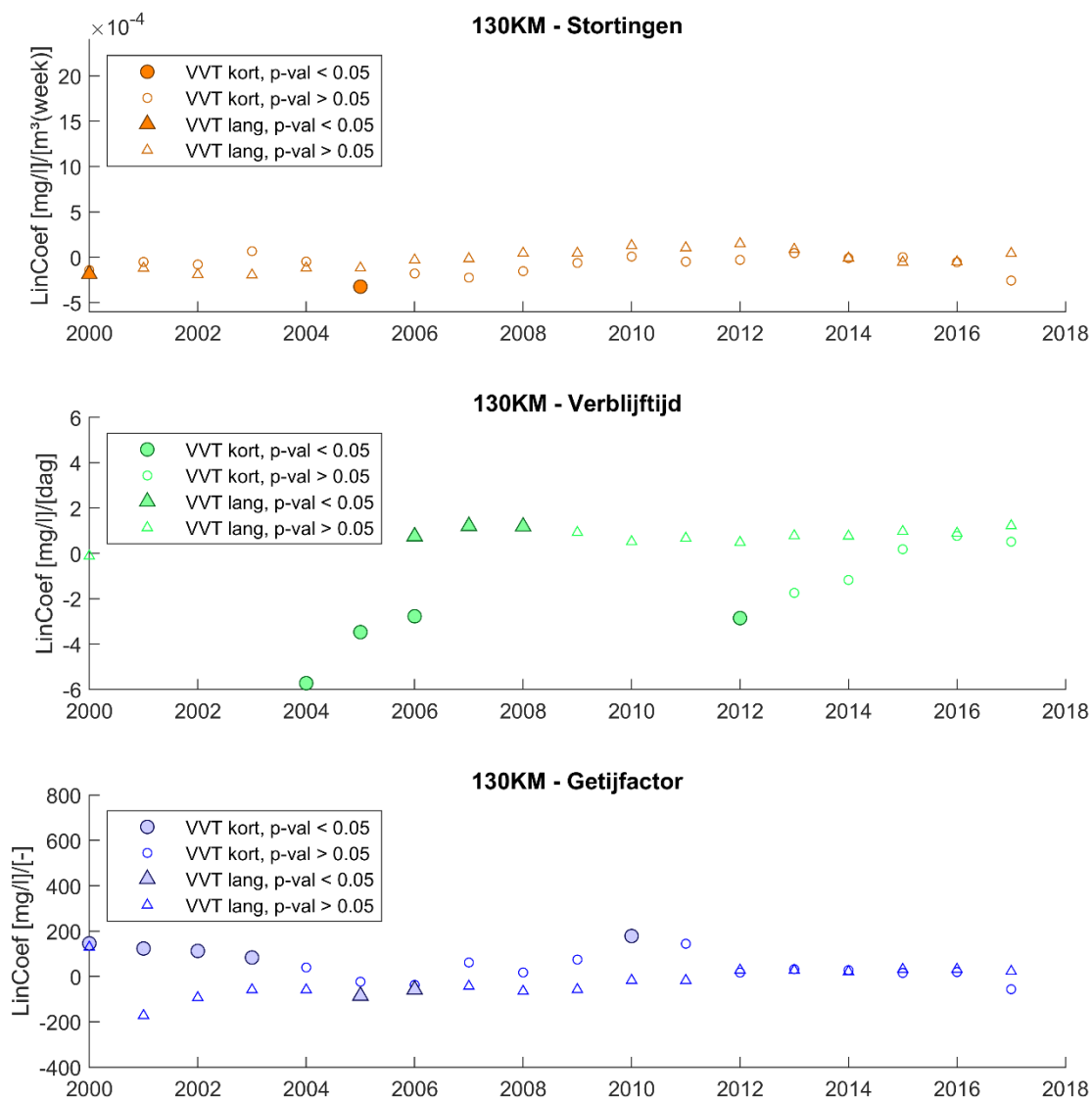
Figuur 44 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 110-120)



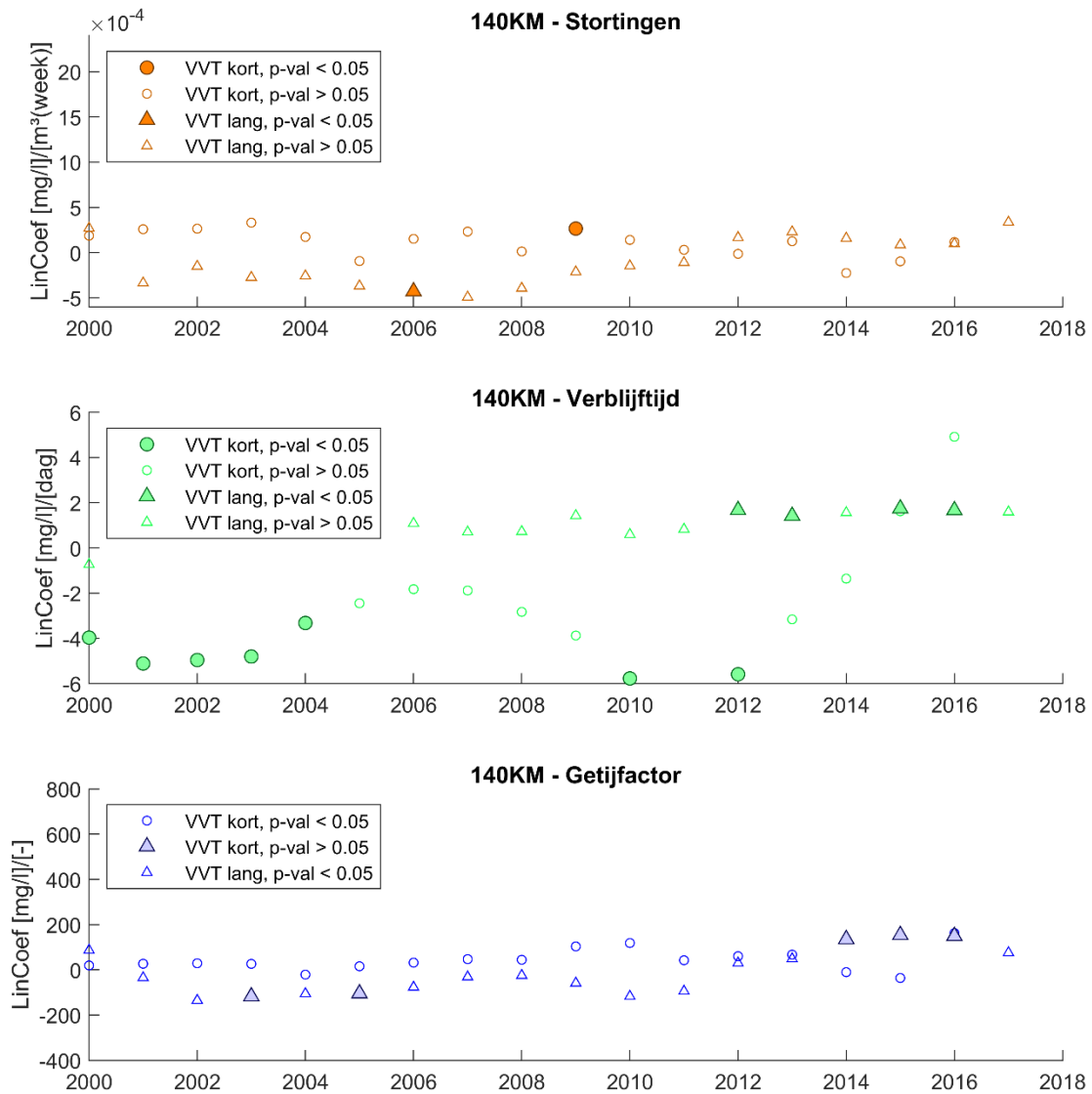
Figuur 45 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 120-130)



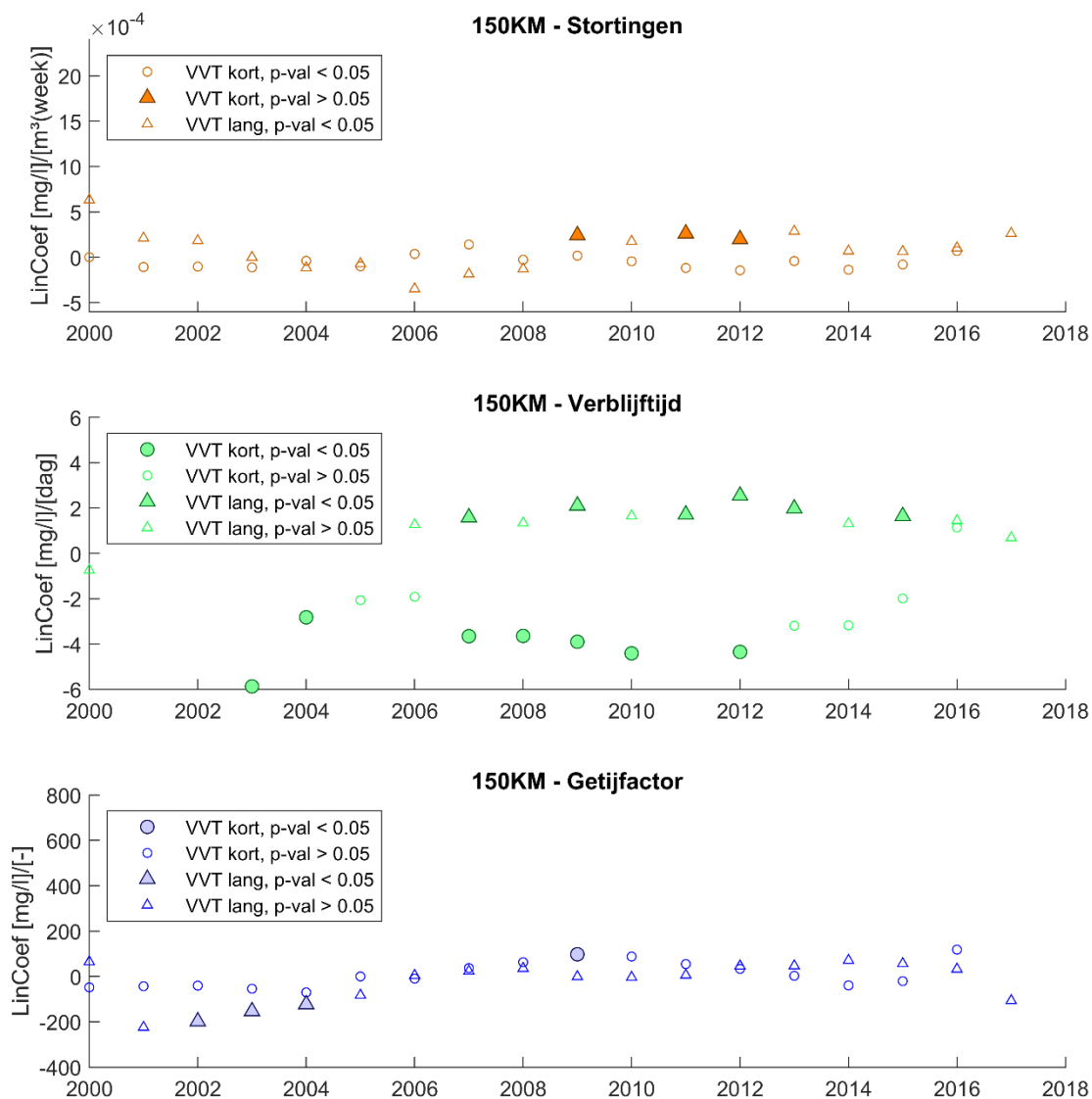
Figuur 46 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 130-140)



Figuur 47 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 140-150)



Figuur 48 – Verloop in de tijd voor lange en korte verblijftijd (subset van 5 jaar) van de lineaire coëfficiënten op basis van de OMES-data (KM 150-160)



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be